

RESPUESTA DEL BAMBÚ AL MECANIZADO CON MÁQUINAS HERRAMIENTAS

ENRIQUE BONILLA RODRÍGUEZ*

bono331@hotmail.com

MIGUEL ÁNGEL VÁZQUEZ SIERRA*

mvazquezdix@gmail.com

JOSÉ LUIS GUTIÉRREZ SENTÍES (COORD.)*

senties@hotmail.com

* DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA Y PRODUCCIÓN
UAM XOCHIMILCO

José Luis Gutiérrez Sentíes es Licenciado en Diseño Industrial por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (UAM-X); Maestro en Ciencias y Artes para el Diseño por la UAM-X, en el Área de concentración Innovación Científica y Tecnológica; Doctor en Ciencias y Artes para el Diseño por la UAM-X, Área de concentración Sustentabilidad Ambiental. Desde 2003 es profesor titular y técnico académico de la UAM-X; desde febrero de 2016 es Jefe del Área de Investigación Hombre Materialización Tridimensional y Entorno, del Departamento de Tecnología y Producción (UAM-X).

Ha participado en congresos nacionales e internacionales, mesas de diálogo y exposiciones. Es autor de diversos artículos con las siguientes líneas de investigación: Tecnología ambiental, materiales naturales y productos ambientalmente sustentables.

Lleva a cabo proyectos de investigación en Tecnología Ambiental, Propiedades y aplicaciones del Bambú, Diseño de Productos Sustentables y Ensaye de materiales naturales.

En México, así como en diversos países de América Latina donde se cultiva el bambú, ha sido poco el interés por el desarrollo tecnológico para la transformación de esta planta. Actualmente en su mecanizado se utilizan las máquinas herramientas que han sido diseñadas para la transformación de la madera, sin embargo, tanto los culmos de bambú, como los tableros de bambú laminado responden a estos procesos de manera diferente que los tableros de madera de pino.

En este trabajo se describen las características generales de las principales máquinas herramientas diseñadas para la transformación de la madera, y se muestran los resultados obtenidos en un ensayo práctico, donde se expusieron 50 piezas de laminado de bambú de la especie *Bambusa oldhamii* y 50 piezas de tablero terciado de madera de pino, a diversos tipos de maquinado, con el fin de identificar y documentar su comportamiento en el proceso de transformación y, a su vez, contar con un parámetro de comparación. **Palabras clave:** culmo, tablero terciado, laminado de bambú, mecanizado, máquinas herramientas, transformación.

In Mexico, as in other Latin American countries where bamboo is grown, there has been little interest in developing technology for working bamboo wood. Currently, machine tools that have been designed for woodworking are used to work bamboo, but both bamboo culms and laminated bamboo panels react to these processes differently than do panels of pinewood.

*This paper describes the general characteristics of the main machine tools designed for woodworking. A practical experiment was undertaken, in which 50 pieces of *Bambusa oldhamii* bamboo laminate and 50 pieces of pine plywood were subjected to various types of machining. The behavior of the two materials undergoing these processes was identified and documented in order to produce a baseline for comparison.* **Keywords:** culm, plywood, bamboo laminate, mechanized, carpentry machine tools, transformation.

INTRODUCCIÓN

El bambú es una planta gramínea, perenne, monocotiledónea que puede llegar a tener una altura de 30 m, y hasta un diámetro de 25 cm, dependiendo de la especie, las condiciones bioclimáticas, humedad y tipo de suelo. Es una de las plantas que cuentan con la mayor velocidad de crecimiento, ya que logra crecer hasta 20 cm de altura en tan sólo 24 h. Si comparamos la velocidad de crecimiento del bambú con la de un árbol de crecimiento rápido, el primero en un periodo de cuatro a cinco años llega a su madurez y alcanza su mayor tamaño y resistencia. Tiempo en el que se le puede cosechar cuando se requiere para uso leñoso, pero desde sus primeros brotes puede ser aprovechado como alimento, o se puede cosechar desde los tres años de edad, si se necesita para otro tipo de uso que no requiera tanta resistencia.

Los bambúes son una planta común en el continente americano. A excepción de Canadá, se pueden encontrar registros de bambúes oriundos en casi todos los países de América. Por su rápido crecimiento, gran versatilidad y resistencia, esta gramínea ha sido de gran utilidad para el ser humano a lo largo de su historia.

Los bambúes son plantas muy diversas y económicamente importantes que crecen en regiones tropicales de Asia, África, Australia y América. Se conocen como las gramíneas más grandes del mundo y se distinguen del resto de éstas por ser una planta perenne, con rizomas bien desarrollados, culmos casi siempre lignificados y fuertes, y las hojas pecioladas.¹ En el mundo existen cerca de 119 géneros y alrededor de 1400 especies (1290 de ellas leñosas y 110 herbáceas) que se distribuyen desde Japón hasta Chile.

En México contamos con diversas especies de bambú. Cada una de ellas presenta características específicas que las hacen aptas para diferentes aplicaciones. Por ejemplo, para la elaboración de tableros se requieren especies de bambú con características especiales, de preferencia deben ser fibrosas para contar con mayor resistencia a la tensión, compresión, flexión y a la fuerza cortante. Así mismo, es conveniente que sean de culmos grandes y

diámetros gruesos con el fin de obtener mayor número de reglillas de gran tamaño, y deberán ser de paredes gruesas para tener una mayor cantidad de material y utilizar menos reglillas en la elaboración de cada tablero. En nuestro país existen al menos tres especies que tienen estas características, una de ellas, la *Guadua aculeata* que es originaria del territorio, y dos especies que se introdujeron pero que se han adaptado muy bien a diversos climas y suelos de la república mexicana, sobre todo aquellos donde crece el bambú de forma natural, tal es el caso de la *Guadua angustifolia*, de la que algunos autores mencionan que hay crecimiento nativo en México y la *Bambusa oldhamii*, que a pesar de no ser del género *Guadua*, tiene dimensiones y características similares.

Una de las partes del bambú que más se utiliza es el *culmo*, que nace del rizoma y surge a la superficie alcanzando alturas de hasta 30 m y diámetros de cerca de 30 cm, dependiendo de la especie. Por lo general, una vez que brota el bambú del suelo lo hace con el diámetro basal que tendrá durante todo su desarrollo, disminuyendo acorde con la altura.

El bambú se divide en tres partes principales: cuello, nudos y entrenudos, las cuales son aprovechadas en una importante cantidad de aplicaciones, entre las que destacan: como material de construcción (vivienda, puentes, etc.), en las labores agropecuarias (corrales, cercos, etc.), en la fabricación de muebles y artesanías, en la producción de carbón vegetal, de textiles, de pulpa para papel, y de productos industrializados tales como paneles, aglomerados y pisos. Un producto de bambú que se utiliza después como materia prima para la fabricación de diversos objetos, son los *tableros de bambú laminado*, presentación que se desarrolló en países orientales y que México aún se está investigando su proceso de producción.

Por lo anterior, los tableros de bambú laminado apenas comienzan a tener presencia y todavía no hay una definición reconocida por el medio, por lo que en este trabajo se considera la siguiente: "Tablero conformado por láminas o reglillas de bambú unidas por una técnica física, química o en combinación".²

1. T. R. Soderstrom y R. P. Ellis, "The position of Bamboo Genera and Allies in a System of Grass Classification", en Soderstrom, T. R., K. W. Hilu, C. S. Campbell y M. E. Barkworth (eds.), *Grass systematics and evolution*, Washington, DC, Smithsonian Institution Press, 1987.

2. José Luis Gutiérrez, *Tecnología ambiental para el diseño de productos sustentables. Tableros de bambú laminado*, Tesis doctoral, México, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, 2014.

Los tableros de bambú laminado responden al maquinado de manera diferente a la que presentan los tableros de madera de pino, a pesar de que ambos contienen celulosa, hemicelulosa y lignina. En este trabajo se expone la respuesta que presentan el tablero de bambú laminado y el tablero terciado de madera de pino, ambos de 12 mm de espesor, a los maquinados más comunes que se utilizan en su transformación.

Para valorar las diferentes respuestas o comportamientos de dichos tableros al maquinado, se asignaron cuatro niveles de evaluación, considerando aspectos como la dirección del corte con base en la disposición de las fibras, material levantado, material arrancado y el impacto que presenta el cortador al contacto con el tablero, concluyendo con una calificación final por cada tipo de maquinado.

ENSAYOS, USOS Y APLICACIONES

En este apartado se describen los usos y aplicaciones de las principales máquinas herramientas de control numérico que se utilizan en la manufactura asistida por computadora para la transformación de la madera; además se incluyen los resultados obtenidos en un ensayo práctico, realizado por los autores de este trabajo (Tabla 1). En dicho ensayo se expusieron 50 piezas de madera terciada de pino y 50 piezas de bambú laminado de la especie *Bambusa oldhamii*, a diversos tipos de maquinado, con el objetivo de identificar y documentar su comportamiento en el proceso de transformación.

A continuación se describen las máquinas herramientas de control numérico que se utilizan más comúnmente en la transformación de la madera y que están diseñadas para trabajar con dicho material, pero que en determinado momento también se pueden usar con el bambú y otras fibras naturales que sean similares a la madera desde el punto de vista químico y biológico.

Fresadora

Esta es la primera máquina herramienta fabricada con control numérico. Por lo general, se utiliza para trabajar metales como el acero y el bronce, pero también se puede emplear para trabajar con madera y otros materiales. Se usan cortadores con dientes múltiples conocidos como fresas. El fresado suele ser de corte o periférico.

La fresadora puede ser utilizada para tableros de bambú laminado, pero se dificulta en bambú rollizo, aunque no se descarta su uso, principalmente para hacer cortes para ensamble, como el llamado “boca de pescado”, o realizar barrenos.



Figura 1. Fresadora CNC. Fuente: <http://mclane.com.mx/>.

Con la madera se obtienen buenos resultados, pero con el bambú es común que el acabado quede un poco burdo por la disposición de las fibras. Por ello, si se desea obtener óptimos resultados es mejor utilizar fresas diseñadas para el metal, ya que sus filos están menos separados y son más finos, lo que contribuye a que las fibras del bambú no se separen tanto como sucede con las fresas para madera (Tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1. Resultados de procesos de maquinado

Maquinado	Material	Corte	Material levantado	Material arrancado	Impacto al contacto	Calificación
Fresado	Bambú	Paralelo	Alto	Alto	Alto	Regular
		Transversal	Alto	Alto	Alto	Regular
	Madera	Paralelo	Medio	Alto	Medio	Bueno
		Transversal	Medio	Alto	Medio	Bueno
Torneado	Bambú	Paralelo	Medio	Bajo	Bajo	Excelente
		Transversal	Alto	Bajo	Alto	Malo
	Madera	Paralelo	Medio	Bajo	Medio	Excelente
		Transversal	Alto	Bajo	Medio	Regular
Routeado	Bambú	Paralelo	Alto	Alto	Alto	Regular
		Transversal	Alto	Alto	Alto	Regular
	Madera	Paralelo	Medio	Alto	Medio	Bueno
		Transversal	Medio	Alto	Medio	Bueno
Sierra circular (mesa, brazo radial, inglete)	Bambú	Paralelo	Medio	Medio	Medio	Bueno
		Transversal	Alto	Alto	Alto	Malo
	Madera	Paralelo	Medio	Bajo	Bajo	Excelente
		Transversal	Alto	Medio	Bajo	Bueno
Sierra cinta	Bambú	Paralelo	Bajo	Medio	Medio	Bueno
		Transversal	Medio	Alto	Medio	Regular
	Madera	Paralelo	Bajo	Bajo	Bajo	Excelente
		Transversal	Medio	Bajo	Bajo	Bueno
Cepillado	Bambú	Paralelo	Bajo	Bajo	Bajo	Excelente
		Transversal	Alto	Alto	Alto	Malo
	Madera	Paralelo	Bajo	Bajo	Bajo	Excelente
		Transversal	Alto	Alto	Alto	Malo
Lijado	Bambú	Paralelo	Bajo	Bajo	Bajo	Excelente
		Transversal	Medio	Medio	Bajo	Regular
	Madera	Paralelo	Bajo	Bajo	Bajo	Excelente
		Transversal	Medio	Medio	Bajo	Regular
Barrenado	Bambú	Paralelo	Medio	Bajo	Bajo	Bueno
		Transversal	Medio	Bajo	Bajo	Bueno
	Madera	Paralelo	Bajo	Bajo	Bajo	Bueno
		Transversal	Bajo	Bajo	Bajo	Bueno
Centro de maquinado	Bambú	Paralelo	Medio	Alto	Alto	Regular
		Transversal	Medio	Alto	Alto	Regular
	Madera	Paralelo	Medio	Alto	Medio	Bueno
		Transversal	Medio	Alto	Medio	Bueno
Corte láser	Bambú	Paralelo	No hay	Muy bajo	No hay	Excelente
		Transversal	No hay	Muy bajo	No hay	Excelente
	Madera	Paralelo	No hay	Muy bajo	No hay	Excelente
		Transversal	No hay	Muy bajo	No hay	Excelente
Hidrocorde	Bambú	Paralelo	No hay	Muy bajo	No hay	Excelente
		Transversal	No hay	Muy bajo	No hay	Excelente
	Madera	Paralelo	No hay	Muy bajo	No hay	Excelente
		Transversal	No hay	Muy bajo	No hay	Excelente

Torno

Se considera que el torno es la máquina más antigua del mundo. El torno de control numérico se utiliza para mecanizar piezas de revolución, uniformes y en cantidades necesarias; esto es, permite crear objetos cilíndricos y realizar una gran variedad de grabados y figuras en superficies cilíndricas con un alto grado de calidad y precisión.

El uso de esta máquina en la madera y el bambú rollizo ofrece excelentes resultados, con buena calidad y sin presentar problemas de separación y exposición de fibras cuando el material se coloca en el mismo sentido de las vetas, en el caso de la madera, o de las fibras, en el bambú. Cuando se realiza el mecanizado perpendicular a la fibra o a la veta, se produce un mayor impacto y, en ocasiones, desprendimiento de material, dejando un acabado burdo (Tabla 1 y Figura 2).



Figura 2. Torno CNC, madera y bambú torneados. Fuente: <http://mclane.com.mx/> y fotografías de archivo personal.

Router

En la actualidad es una de las máquinas herramientas de control numérico más comunes en la transformación de la madera, por la variedad de mecanizados que se pueden realizar. La mayoría de este tipo de máquinas están diseñadas para trabajar principalmente con tableros de madera, obteniendo un mejor resultado en madera maciza y en MDF, porque los contrachapados como el triplay y los aglomerados tienen problemas de desprendimiento de material y acabado burdo, debido a la forma en que están estructurados estos tableros; esto es, las fibras se encuentran en direcciones diferentes, además de que el espesor de las astillas o capas es muy delgado, lo que contribuye a que el material se rompa y desprenda.

En este caso, el comportamiento del tablero de bambú al utilizar este maquinado es muy similar al del triplay, se dificulta por la disposición de las fibras, sobre todo cuando el corte se realiza de forma transversal a éstas, ya que el impacto del cortador con el material es fuerte y en el caso de los tableros elaborados que usan como adhesivo la Urea-Formaldehído, se llegan a despostillar o incluso a partir. Sin embargo, cuando no se desprenden las fibras el acabado es aceptable, por lo que se califica como "Regular" este maquinado.

Cabe mencionar que en las pruebas que se realizaron en *router* de control numérico, el resultado fue una gran cantidad de viruta y en muchos casos el cortador se desplazaba de la trayectoria original debido a la resistencia que opone el material (Tabla 1 y Figura 3).



Figura 3. Router CNC de la UAM Xochimilco. Fotografía: José Luis Gutiérrez.

Sierras

Existen diferentes tipos de sierras de control numérico para madera, entre las que podemos mencionar: la cinta, circular, de paneles y de puente. Las dos más comunes son la circular y la cinta.

La sierra circular sirve para cortar prácticamente todas las presentaciones comerciales de madera, y también se pueden realizar diversos tipos de corte, principalmente longitudinales, con la limitante de que los cortes no pueden ser muy profundos, ya que dependen del radio de la sierra. Hoy en día, el control numérico amplía los posibles tipos de corte: inclinados, en ángulo o combinados, pasados o sólo en un segmento de la madera, con gran precisión y alto grado de seguridad para los operadores.

Este tipo de sierra también es utilizado para cortar el bambú, ya sea en tableros o en su forma natural; sin embargo, los resultados no ofrecen la misma calidad debido a la disposición de las fibras, lo que genera que el corte no sea totalmente limpio y fino. Aunado a ello, la cantidad de sílice que contiene el bambú disminuye la vida útil de la sierra.

La investigación práctica realizada demostró que el corte hecho con sierra circular de mesa, de brazo radial y de inglete, se dificultó en los cortes transversales a la fibra, principalmente en tableros de espesores mayores a 0.5". En este caso se registró fuerte impacto al tocar la sierra con el material, provocando que la pieza de bambú rebotara y que el corte no lograra ser limpio y preciso, dejando un acabado burdo, con exposición de fibras y, en ocasiones, desprendiendo material.

En espesores menores a 0.5" y corte transversal a la fibra, el impacto fue menor y el corte más limpio; sin embargo, en algunas ocasiones sí hubo exposición y desprendimiento de fibras. Por dicho comportamiento, se puede calificar como "Malo" la respuesta al corte transversal a la fibra.

El corte realizado en la misma dirección de las fibras es mejor y la calidad del acabado es aceptable, pero surge la necesidad de lijar para mejorarlo ya que llegan a desprenderse algunas fibras, el impacto al tocar la sierra con el material es menor, pero también influye el espesor del tablero, por ello se considera como "Buena" la respuesta a este maquinado.

En cambio, la sierra cinta se utiliza principalmente para realizar cortes irregulares, similar a una caladora, y al igual que en las demás máquinas herramientas, el control numérico y la manufactura asistida por computadora amplían las posibilidades de tipos de corte, en virtud de que en la mayoría de estas nuevas sierras se puede controlar el movimiento y posición tanto de la sierra como de la mesa de soporte, logrando realizar con facilidad mecanizados que con la tecnología anterior no se conseguían o era muy complicado realizarlos.

El resultado que se obtuvo en el ensayo realizado con madera y bambú, demostró un corte menos burdo en el bambú que con la sierra circular, pero aún con desprendimiento de fibras y un acabado de baja calidad. No obstante, se confirma nuevamente que el diseño de dicha maquinaria es especializado para la madera, ya que el proceso de corte no ofrece ninguna resistencia y deja un acabado fino.



Figura 4. Sierra circular y sierra cinta CNC. Fotografía: José Luis Gutiérrez.



Figura 5. Respuesta del bambú al corte con sierra circular y sierra cinta. Fotografía: José Luis Gutiérrez.

Vale la pena comentar que una de las desventajas de todas estas tecnologías, donde la herramienta entra en contacto directo con el material, es que se desprende una importante cantidad de viruta, que por lo general se considera como desperdicio (Tabla 1 y Figuras 4 y 5).

Cepillo

El cepillo CNC permite generar superficies parejas, planas y lisas de tablas y tableros de madera y bambú. Si la superficie cepillada es la cara de la pieza, a la operación se le denomina como “planeado”, mientras que si la superficie cepillada es el canto de la pieza, se le conoce como “canteado”. Así mismo, se utiliza para calibrar el espesor de una tabla y limpiar sus caras. La respuesta tanto del bambú como de la madera al cepillado es muy buena. Actualmente el cepillo CNC es menos utilizado y su disponibilidad en marcas y modelos disponibles es más limitada en comparación con otras máquinas herramientas (Tabla 1 y Figura 6).

Lijadoras

Algunas lijadoras, principalmente de control numérico, permiten controlar la velocidad de rotación de la banda, así como la velocidad de alimentación del material para obtener un mejor lijado considerando el tipo de material que se machine; así mismo, cuentan con soplador y colector de polvo, proporcionando además de una excelente calidad de mecanizado, un alto grado de higiene y seguridad para la planta y los operarios. El mecanizado sirve para lijar, alisar, pulir, abrillantar o limpiar.



Figura 6. Cepilladora. Fuente: José Luis Gutiérrez.

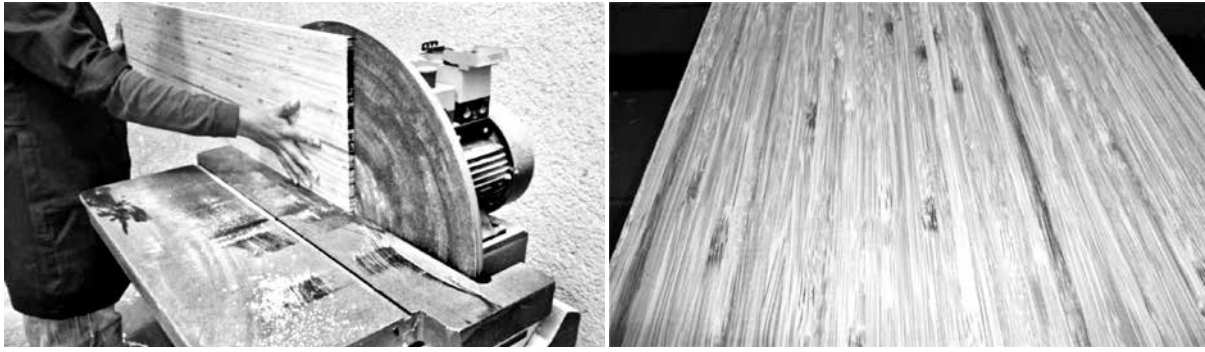


Figura 7. Lijadora circular. Fuente: José Luis Cutiérrez.

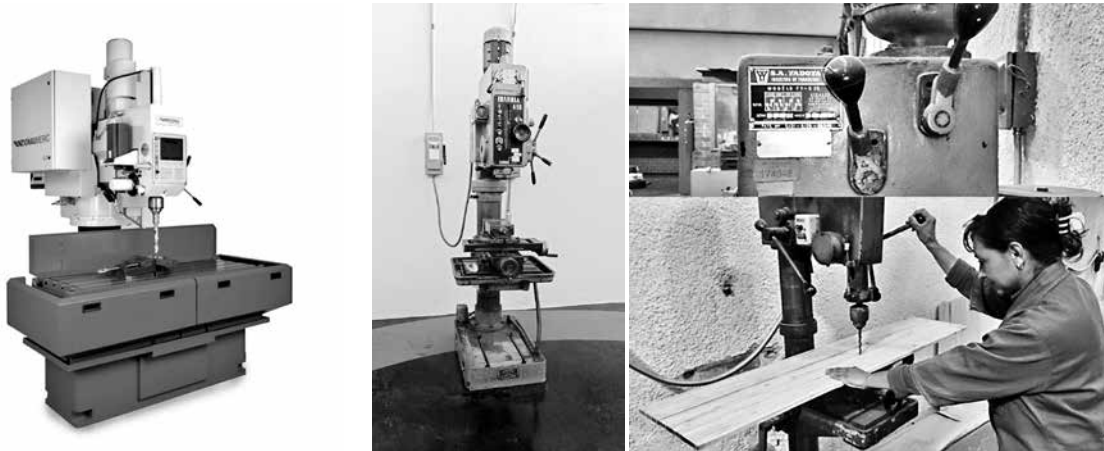


Figura 8. Centro de taladro CNC y taladro de banco. Fuente: www.directindustry.com/prod/donau/product-7079-596334.html, y José Luis Cutiérrez.

Los resultados del mecanizado son de muy buena calidad, tanto en madera como en bambú; se pueden obtener superficies tersas, limpias y pulidas, lo cual se controla tanto con la velocidad de rotación de la banda, como con la velocidad de alimentación del material y el tamaño de grano de la lija utilizada (Tabla 1 y Figura 7).

Taladro

El taladro CNC se encuentra disponible principalmente como un centro de maquinado que puede realizar uno o varios barrenos al mismo tiempo, y de esta manera reduce considerablemente el tiempo de mecanizado, además de ofrecer precisión. Con esta herramienta es posible realizar varios barrenos al mismo tiempo a diferentes distancias, con distintas profundidades y ángulos diferentes, y pueden maquinarse tantas piezas iguales como se requieran.

Cabe mencionar que tanto la fresadora como el *router* y el centro de maquinado CNC pueden realizar este tipo de mecanizado, por lo que el taladro se utiliza en procesos más especializados.

El barrenado es de buena calidad en el tablero terciado de madera, y en el bambú se presenta un mínimo des-

prendimiento de fibras alrededor de la perforación. Sin embargo, el contenido de sílice del bambú es una limitante ya que disminuye notablemente el filo de las brocas, por lo que es necesario afilarlas continuamente para lograr un mejor maquinado (Tabla 1 y Figura 8).

Centro de maquinado

La evolución de las máquinas herramientas ha permitido la incorporación, en una sola máquina, de varias operaciones elementales de mecanizado que tradicionalmente se efectuaban en máquinas diferentes, y puede tener varias herramientas con un cambiador automático de éstas.

El centro de maquinado permite efectuar operaciones de fresado, taladrado, mandrinado, escariado, etc. Si además está incorporada una mesa giratoria, pueden realizarse operaciones de torno vertical. Es posible obtener una pieza acabada, o casi acabada, en una sola estación de trabajo.

El mecanizado es de buena calidad en el tablero de madera terciada, mientras que en bambú dependerá del tipo de mecanizado y de la herramienta utilizada (Tabla 1 y Figura 9).



Figura 9. Centro de maquinado CNC. Fuente: Smart.



Figura 10. Corte láser en madera y bambú. Fuente: <https://maderame.com>, y José Luis Gutiérrez.

Láser

Este es un proceso que se puede aplicar tanto para cortar como para grabar materiales. No presenta desprendimiento de virutas. Es muy preciso y consiste en un rayo de luz enfocado con gran exactitud, el cual va fundiendo el material que encuentra a su paso; una característica muy importante es que no implica contacto con el material. El láser es manipulado por control numérico y la velocidad de corte depende del tipo y espesor del material.³

El proceso deja marcas de quemado en la madera y en el bambú, pero realiza cortes limpios y precisos con un

mínimo de desperdicio y alto grado de seguridad en su operación. El láser puede ir montado en plano horizontal o fijado en un cabezal multieje, lo que permite labrar formas muy complejas en tres dimensiones. Además, consigue hacer orificios hasta de 0.025 mm de diámetro (Tabla 1 y Figura 10).

3. J. Nelly y R. Kibbe, *Materiales y procesos de manufactura*, México, Limusa, 2006.

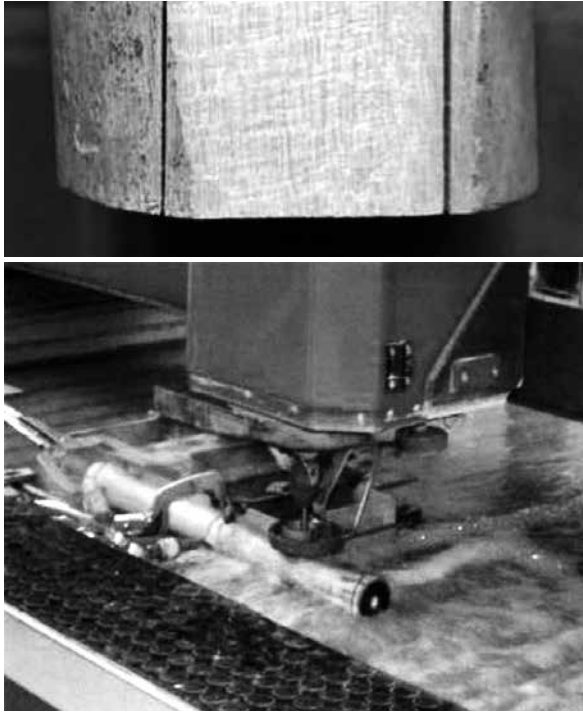


Figura 11. Hidrocorte en bambú. Fotografía: Héctor Gutiérrez Sapien.

Hidrochorro

También llamado mecanizado hidrodinámico o corte con chorro de agua. Funciona por medio de un chorro de agua muy fino, aproximadamente de 0.5 mm a alta presión, de entre 20 000 y 55 000 libras por pulgada cuadrada. Se realiza por control numérico y puede atender el maquinado de pocas piezas o volúmenes en masa.

La eficiencia del proceso aumenta si se añade al agua un material abrasivo. Un chorro puede cortar una plancha de titanio de 13 mm de grosor a una velocidad de 160 mm por minuto. No produce rebabas y puede tener una precisión de 0.1 mm. Además, se puede usar en materiales como: vidrio, acero, madera, bambú, plástico, cerámica, piedra, mármol y hasta papel.⁴

El hidrocorte es una de las mejores tecnologías que ofrece un maquinado prácticamente perfecto en el corte del tablero de bambú laminado. Al igual que en el mecanizado con láser, como el corte no se realiza con un material sólido el impacto es mucho menor, no hay desprendi-

miento de fibras y el acabado es muy fino. Y a diferencia del corte con láser, esta tecnología no quema el material por lo que no deja ninguna marca (Tabla 1 y Figura 11).

Tanto el hidrocorte como el corte con láser ofrecen una serie de ventajas en comparación con las máquinas herramientas de impacto que vale la pena considerar en la industria. Dichos beneficios son:

- Menos desperdicio de material.
- Sin desgaste de filos de las herramientas.
- Alta precisión al realizar el corte.
- Superficies lisas, sin astillas.
- Menos daño a la salud.
- Poca exposición a partículas suspendidas.
- Disminuye accidentes.

Prensa para elaborar tableros de bambú

La tecnología CAM especializada para la transformación del bambú existe en varios países, principalmente del continente asiático como China, Japón, India y Corea, quienes han apostado por el desarrollo de dicha industria, y China parece ser el primero en el ramo (Figura 12).

En México no se ha desarrollado esta tecnología, sin embargo, ya se han importado algunas máquinas de China e India, pero no cuentan con control numérico. A continuación se mencionan tres máquinas herramientas con tecnología CAM, especializadas para el bambú y que se emplean en otros países, motivo por el cual no pudieron ser probadas y utilizadas en esta investigación, sin embargo, es importante mencionarlas con el fin de conocer el avance tecnológico en el aprovechamiento y transformación del bambú en otros países.

Por lo general, la tecnología importada se diseña tomando en cuenta las características y requerimientos propios del país que las fabrica, y este es uno de los problemas a los que se ha enfrentado la industria mexicana respecto al trabajo con el bambú, ya que el que crece en México tiene propiedades diferentes a los que crecen en otros países, en particular si hablamos de las propiedades físicas, químicas y mecánicas, las cuales influyen directamente en el mecanizado, provocando que los procesos no se realicen con la misma eficiencia y eficacia y, por lo tanto, los resultados no sean óptimos.

4. C. Lefteri, *Así se hace. Técnicas de fabricación para diseño de producto*, Barcelona, Blume, 2008, y Nelly, *op. cit.*



Figura 12. Prensa para elaboración de tableros de bambú. Fuente: José Luis Gutiérrez.



Figura 13. Centro de maquinado para elaboración de tableros de bambú. Fuente: <http://ccne.mofcom.gov.cn/>.

Uno de estos casos es la prensa para elaborar tableros de bambú, la cual sirve para unir y pegar las reglillas que formarán el tablero, como se comentó anteriormente, en México no se han obtenido los resultados deseados debido a que la unión no es totalmente satisfactoria.

Centro de maquinado para tableros de bambú

El centro de maquinado para la elaboración de tableros de bambú ofrece el proceso de diversos maquinados que se requieren para obtener dicho producto, como por ejemplo, la obtención de reglillas, el dimensionado, la aplicación de adhesivo, el prensado, secado y el acabado (Figura 13).



Figura 14. Dimensionadora. Fuente: www.homedesignideasplans.com/8-floor.

Dimensionadora de paneles de bambú para pisos

Esta tecnología sirve para dimensionar los tableros de bambú para la fabricación de pisos, es de origen chino y se utiliza para la producción industrial de pisos laminados de bambú. Es una máquina herramienta con la que aún no cuenta la industria bambusera mexicana (Figura 14).

CONCLUSIONES

En México, la tecnología para la transformación de la madera, el bambú y fibras naturales, en especial de control numérico para ser utilizada en la manufactura asistida por computadora, presenta pocos avances. De los tres materiales citados, la industria maderera es la que recibe mayor atención y desarrollo en nuestro país desde hace mucho

tiempo, y es la que cuenta con mayor variedad de máquinas herramientas de control numérico. No fue sino hasta hace pocos años que en diversos países, incluyendo el nuestro, el uso del bambú y otras fibras naturales ha comenzado a recibir la atención y desarrollo que merece —aunque aún no es suficiente— pues se considera que son materiales menos contaminantes y más amigables con la naturaleza, por lo que se procura el cuidado del ambiente.

Considerando lo anterior es como podemos explicar la falta de interés durante tantos años por parte del gobierno y de la industria manufacturera por el uso de dichos materiales y, por lo tanto, la falta de conocimientos y tecnología para su transformación.

Hoy en día se utiliza numerosa tecnología de control numérico que fue diseñada para la industria de la madera, en la transformación del bambú y fibras naturales por ser materiales con composición muy similar; no obstante, las características propias de cada material hacen que las máquinas herramientas no sean del todo eficaces. En cambio, la tecnología de CAD CAM puede ser funcional porque no interviene directamente con las propiedades físico-mecánicas de cada material. Esto es, podemos diseñar y programar eficazmente pero no podemos mecanizar con el resultado esperado porque lo que hace falta son máquinas especializadas para la transformación del bambú, así como para otras fibras naturales.

Como se observa en los resultados de la investigación, para algunos tipos de mecanizado sería posible aprovechar tecnología como el corte láser y el hidrocorte, con excelentes resultados para los dos tipos de materiales aquí estudiados; sin embargo, estas tecnologías no se han aplicado en México, y al parecer tampoco en los países que tienen mayor desarrollo, específicamente en la industria del bambú, en la que se continúa utilizando tecnología donde las herramientas tienen contacto directo con el material, lo cual no es la mejor opción por las propiedades del laminado de bambú.

Se pudo observar que las máquinas herramientas que fueron diseñadas para la transformación de la madera, ofrecen mejores resultados en los tableros terciados de madera de pino que en los tableros de bambú laminado; por lo que es necesario diseñar tecnología especializada para la transformación del bambú que considere sus propiedades físicas (disposición y unión de fibras) y químicas (como el contenido de sílice) para obtener más eficiencia y mejores resultados, tomando en cuenta las nuevas tecnologías donde la herramienta no tiene contacto directo con el material por trabajar.

Es importante y necesario que propiciemos en México el desarrollo tecnológico enfocado en la transformación de la madera, el bambú y otras fibras naturales, para estar en posibilidades de aprovechar los beneficios ambientales, económicos y sociales que la gran mayoría de los materiales naturales pueden ofrecer para el bienestar del ser humano.

FUENTES CONSULTADAS

- ALCAIDE, J., J. Diego y M. Artacho, *Diseño de producto, métodos y técnicas*, España, Alfa Omega Grupo Editor, 2004.
- BOLTON, W., *Mecatrónica, sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*, México, Alfa Omega Grupo Editor, 2006.
- DE LA PAZ, Carmen, Raymundo Dávalos y Estela Guerrero, "Aprovechamiento de la medra de encino en México", en *Madera y bosques*, vol. 6, núm. 1, México, Departamento de Asuntos Forestales y Conservación de Bosques, Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, 2000.
- GUTIÉRREZ, J. L., *Tecnología ambiental para el diseño de productos sustentables. Tableros de bambú laminado*, Tesis doctoral, México, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, 2014.
- LEFTERI, C., *Así se hace. Técnicas de fabricación para diseño de producto*, Barcelona, Blume, 2008.
- LESKO, J., *Diseño industrial. Guía de materiales y procesos de manufactura*, México, Limusa, 2004.
- MADRIGAL, R. y E. Vidal, *Robots industriales manipulados*, España, Alfa Omega Grupo Editor, 2004.
- MALONEY, T., *Electrónica industrial moderna*, México, Pearson Educación de México, 2006.
- MINGUELA, B., A. Rodríguez y D. Arias, *Desarrollo de nuevos productos: consideraciones sobre la integración funcional*, España, Cuadernos de Estudios Empresariales, 2000.
- NELLY, J. y R. Kibbe, *Materiales y procesos de manufactura*, México, Limusa, 2006.
- PELZ, G., *Sistemas mecatrónicos*, México, Limusa, 2006.
- SODERSTROM, T. R. y R. P. Ellis, "The position of Bamboo Genera and Allies in a System of Grass Classification", en Soderstrom, T. R., K. W. Hilu, C. S. Campbell y M. E. Barkworth (eds.), *Grass systematics and evolution*, Washington, DC, Smithsonian Institution Press, 1987.

Referencias electrónicas

- China Commodity Net: Ministry of Commerce of the PRChina, <http://ccne.mofcom.gov.cn/>.
- Mc Lane, sitio oficial, <http://mclane.com.mx/>.
- www.redcientifica.com/doc/doc199908210001.html.