

DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MAQUINADO DE LA MADERA DE 34 ESPECIES TROPICALES

D. Zavala-Zavala¹; M. Vázquez-Rodríguez²

¹Ph. D. Investigador Titular del CENID-COMEF, INIFAP, SAGARPA. Jefe del Departamento de Pisos de Intermex. México, D. F.

RESUMEN

La determinación de las características de maquinado o trabajabilidad de la madera son básicas para definir su utilización en la elaboración de productos que requieren acabados tersos. En este estudio se analizaron 34 especies tropicales, siguiendo las especificaciones de la norma ASTM-D-1666-64, para los ensayos de cepillado, torneado, moldurado, taladrado y lijado. En los ensayos de cepillado, 13 especies presentaron características de excelentes y buenas, por lo que se pueden utilizar en cualquier producto donde la tersura de la superficie sea una condicionante, 14 se clasificaron como regulares y 7 pobres y muy pobres. Respecto a los ángulos de corte, el de 20 ° generó mejores resultados en maderas de densidad media a alta, y el de 30 ° es más adecuado para madera de baja densidad o blanda. En el torneado, 24 especies se clasificaron como excelentes, sugiriéndose para trabajos donde se requiera tersura; 4 se ubicaron en la categoría de buenas y 3 como regulares, ambas adecuadas también para productos torneados pero requieren un buen lijado, y las 3 restantes se clasificaron como pobres y muy pobres. De la evaluación del moldurado, se infiere que 21 especies se pueden utilizar para la producción de molduras y las otras 13 restantes, con calidad baja por el efecto del corte en sentido diagonal al grano, se pueden mejorar cuando el corte se realice paralelo al grano. En el taladrado, un alto porcentaje de especies presentaron resultados excelentes, 24 especies equivalentes a 70 %, 3 buenas, 1 regular y 6 pobres y muy pobres. En el lijado, 15 especies se clasificaron como excelentes, 4 como buenas, 6 como regulares y 9 como pobres y muy pobres. Integrando los resultados de cada uno de los ensayos de maquinado, 28 especies se pueden utilizar para trabajos donde la tersura del acabado es importante, como en muebles, productos torneados (mangos para herramientas), artesanías, ebanistería en general, etc. Las 6 especies con resultados pobres de maquinado, se recomiendan para usos donde la tersura no sea una condicionante, como tarimas, cajas para empaques, polines, y en la construcción en general, u otros usos de madera áspera.

PALABRAS CLAVE: trabajabilidad, cepillado, torneado, moldurado, taladrado, lijado.

DETERMINATION OF THE WOOD MACHINING CHARACTERISTICS OF 34 TROPICAL SPECIES

SUMMARY

The determination of wood machining characteristics are basic to define its utilization in the manufacture of products that require smooth surfaces. In this study 34 tropical species were analyzed according to the ASTM-D-1666-64 standard for planing, turning, molding, boring and sanding tests. In the planing test, 13 species were evaluated as excellent and good, therefore they can be used in any product where the smoothness of the surface is a requirement; 14 were rated as regular and 7 as poor and very poor. Regarding the cutting angles, the best results were obtained with 20 ° in woods with high and medium density, and the 30 ° is more adequate for low density woods. In the turning test, 24 species were classified as excellent and are suggested to be used in works where smoothness is required; 4 were graded as good and 3 as regular, both adequate for turning products if a good sanding process is applied; the last 3 species were classified as poor and very poor. From the molding evaluation, it is suggested that 21 species be used in molding products and the 13 left, with low quality due to the effect of the cutting in diagonal direction to the grain, could be improved when the cutting is performed in the parallel direction to the grain. In the boring test, a large percentage of the species, presented excellent results, 24 species equivalent to 74 %, 3 good, 1 regular and 6 poor and very poor. In the sanding process, 15 species were graded as excellent, 4 as good, 6 as regular and 9 as poor and very poor. Integrating the results of every one of the machining test, 28 species can be used for products where the surface smoothness is important, such as furniture, turning products (tool handles), handicrafts, cabinets in general, etc. The 6 species with poor machining characteristics could be used in products where the smoothness is not a limitation, such as pallets, containers, studs and construction in general, or other uses as rough lumber.

KEY WORDS: workability, planing, turning, molding, boring, sanding.

INTRODUCCIÓN

La facilidad con la que puede ser trabajada o labrada la madera ha sido un factor determinante que le ha permitido conservar su posición competitiva ante otros materiales sustitutos. Sin embargo, para definir sus usos óptimos desde el punto de vista técnico y económico, se requiere conocer sus características tecnológicas, entre las cuales se tienen las de maquinado o trabajabilidad.

Las características de maquinado se refieren al comportamiento de la madera al ser procesada con máquinas-herramientas cortantes en las operaciones de cepillado, torneado, moldurado, taladrado y lijado, y se evalúan en función de la tersura de la superficie donde se efectúa el corte o lijado. La calidad de la superficie labrada depende directamente de las características de las herramientas utilizadas y de algunas propiedades tecnológicas de la madera.

El procedimiento de maquinado consiste en la separación de pequeñas astillas o partículas en forma de virutas o aserrín, mediante la acción del filo de herramientas cortantes o de la fricción de lijas sobre las piezas de madera. En las propiedades de maquinado, el comportamiento de la madera de diferentes especies varía ampliamente, y puede generar buenos resultados en algunas operaciones y en otras regulares, por lo que la trabajabilidad de una madera no debe evaluarse por una operación, sino por la interacción de todas ellas.

En nuestro país, el limitado aprovechamiento de algunas especies se debe en parte al desconocimiento de sus características de maquinado, no obstante su importancia dentro de la industria dedicada al acabado de la madera aserrada, donde la uniformidad y facilidad con la que puede ser trabajada son factores decisivos para su utilización. Esta falta de información, ha limitado la posibilidad de selección de otras especies y la calidad de los productos, que se reflejan en el aprovechamiento restringido de especies y precios altos de los productos terminados.

El presente trabajo es una contribución al conocimiento de las características de maquinado de 34 especies tropicales, con la finalidad de definir las mejores alternativas de procesamiento, tendientes a lograr mejores acabados, tanto de las maderas que ya se aprovechan como las que se desconocen en el mercado, que actualmente se consideran subutilizadas.

De los trabajos sobre maquinado realizados en México, Zavala (1976) determinó las características de trabajabilidad de seis especies maderables: *Alnus arguta* (shlecht), spach (aile), *Cordia dodecandra* DC (ciricote), *Lysiloma bahamensis* Benth (tzalam), *Manilkara zapota* (L.) V. Royen (chicozapote), *Piscidia comunis* (Black) I.M. Johnst (jabín) y *Pouteria campechiana* (Kuntch), Baehni (kaniste), basado en la norma ASTM-D-1666-64. Señala que en el cepillado con el ángulo de corte de 30° se obtuvo mejor calidad de la

superficie de la madera y que a mayor número de marcas por centímetro se mejora el acabado; respecto al torneado, de los dos contenidos de humedad (CH) analizados, 8 y 12 %, señala que el de 8 % generó mejores resultados; indica que el taladrado fue excelente en todas las especies y el moldurado y el lijado fueron pobres en el tzalam y el aile.

Respecto al efecto de los ángulos de corte, Martínez y Moreno (1984), en su estudio de maquinado de cuatro especies: *Cordia alliodora* (bojón), *Fraxinus uhdei* (fresno), *Liquidambar styraciflua*, (liquidambar) y *Roseodendron donnell* (primavera), indican que en la calidad del cepillado no hubo efecto del ángulo de corte entre 20 y 30°, y sugieren utilizar el bojón en componentes donde se requieran piezas lisas, el fresno para trabajos de carpintería y ebanistería, el liquidambar para torneado y moldurado. En cuanto a la primavera, recomiendan estudiarla con mayor detalle para determinar condiciones óptimas de trabajabilidad.

En relación a las marcas de cuchilla, Tonacatl (1995), en su trabajo de maquinado del quebracho (*Matudea trinervia* Lundell), señala que la mejor calidad del cepillado se logró con 29.3 marcas de cuchilla por centímetro, con ángulos de corte de 20, 25 y 30°, y que el defecto que más se presentó fue el grano astillado. El lijado resultó excelente y se presentó el grano apelmusado, con resultados similares a los de Sosa (1993), Goche (1993), Flores (1990) y Flores (1991). Los resultados en el barrenado, moldurado y torneado, fueron regulares.

Combinando los dos parámetros, ángulo de corte y marcas de cuchilla, Sosa (1993) en su estudio de maquinado de *Prosopis laevigata* (mezquite), señala que los mejores resultados en el cepillado se obtuvieron con un ángulo de corte de 20°, combinado con 23.56 marcas de cuchilla por centímetro y que en general los cinco ensayos de maquinado: cepillado, torneado, taladrado, moldurado y lijado, fueron excelentes.

En un estudio a nivel de índice de maquinado (cinco probetas por especie) de 39 especies tropicales, Torelli (1982) determinó la calidad del cepillado con ángulos de 30, 20 y 15°, con 2 velocidades de alimentación de 7.6 y 13.1 metros por minuto, con cuchillas con filo de carburo de tungsteno; señala que mejores resultados de cepillado se obtienen con un mayor número de marcas de cuchilla (no indica cuantas), y que a un menor ángulo de corte corresponde un mayor consumo de energía.

Con un número de probetas similar al de Torelli (1982), (cinco por especie), Martínez, P. y Martínez, C. (1996), determinaron las características de cepillado y lijado de 33 especies, y señalan que no hay relación directa entre la densidad y los defectos. Respecto al cepillado, indican que el grano levantado, el grano algodonoso y el grano arrancado fueron más acentuados con ángulos de 20 y 25°, y que se reducen con el ángulo de 30°; señalan que las marcas

de viruta fueron más notorias con el ángulo de 30° y que disminuyen con el ángulo de 20 y de 25°. En relación al lijado indican que en las especies de baja densidad predominaron los rayones, que tienden a disminuir con el aumento de la densidad de la madera y con lijas de 60 y 80, y que el grado alodonoso se presenta indistintamente de la densidad con las lijas de 60 y 80 y se elimina con las lijas de 100.

Ampliando los estudios de maquinado en 32 especies tropicales y de clima templado-frío Martínez, C. y Martínez, P. (1996), determinaron las características de barrenado, escopleado y moldurado, y señalan que a mayor densidad de la madera corresponde una mejor calidad de barrenado, y a mayor velocidad de avance de la broca se tiene una mayor tendencia al grano arrancado. Indican que en el moldurado el grano arrancado en el sentido transversal de la fibra fue el principal defecto y en segundo término el grano alodonoso, y señalan que no hay relación entre la calidad del moldurado y la densidad. En el escopleado indican que las especies con mayor densidad fueron las mejores, sobre todo las de densidad mayor de 0.40 g·cm⁻³ y que el grano arrancado y las marcas de viruta fueron los defectos más comunes.

Uno de los problemas que ha limitado el aprovechamiento de los encinos, ha sido la dificultad para su procesamiento, que en la mayoría de los casos se pretende realizarlo en forma similar al pino (con herramientas y sistemas de corte idénticos). Con la finalidad de analizar y determinar la forma más adecuada de procesarlos, Herrera (1981), y Quiñones y Herrera (1984), determinaron las características de trabajabilidad de cinco especies de encinos: *Quercus resinosa*, *Q. castanea*, *Q. candicans*, *Q. obtusata* y *Q. sideroxylla*. En el cepillado evaluaron ángulos de corte de 20 y 30°, con un número de marcas de cuchilla/cm de 19.7, 13, 9.8 y 6.3, y señalan que el ángulo de 20° combinado con 19.7 marcas de cuchilla/cm generó los mejores resultados; en el lijado la calidad fue excelente para todas las especies y el taladrado los mejores resultados los obtuvieron en *Q. resinosa* y *Q. candicans*. Indican que en el moldurado el corte paralelo al grano fue excelente en todas las especie y el corte diagonal al grano fue mejor en *Q. Sideroxylla* y respecto al torneado señalan que todas las especies se comportaron en forma similar, con resultados de bueno a regular.

Con la misma finalidad que en el trabajo anterior, Flores (1990), realizó el estudio de cuatro encinos: *Quercus affinis*, *Q. crassifolia*, *Q. glabrescens* y *Q. Mexicana*, y obtuvo resultados similares a los de Herrera (1981) en cuanto a la calidad del cepillado, que fue mejor con ángulo de corte de 20° y 26.8 marcas de cuchilla por cm. En el torneado reporta buenos resultados con CH de 12% y con un CH de 7% señala que los resultados fueron regulares y pobres presentándose grano astillado. En el taladrado, moldurado y lijado indica que los resultados fueron excelentes con presencia leve de grano apelmusado en el taladrado y lijado, y grano astillado en el moldurado. En otro estudio similar,

Flores (1991), reporta los resultados de maquinado de tres especies de encinos de Guanajuato: *Quercus laurina*, y *Q. Rugosa* y *Q. Crassifolia*, coincidiendo con Herrera (1981) y Flores (1990) en cuanto a la mejor calidad del cepillado con ángulo de corte de 20°, la cual fue proporcional al número de marcas de cuchilla; clasifica los resultados de lijado, taladrado, torneado y moldurado en la categoría de buenos y señala que en el torneado predominó el grano astillado y en el moldurado, el taladrado y el lijado el grano apelmusado, coincidiendo con Flores (1990).

En su estudio de maquinado de *Quercus sideroxylla*, Goche (1993), compara sus resultados del cepillado con otros trabajos y señala que la mejor calidad se obtuvo con un ángulo de corte de 20°, que concuerda con Herrera (1981), Quiñones y Herrera (1984) y con Flores (1990) y Flores (1991) para otras especies de encinos y con Moreno y Martínez (1984) para especies tropicales de densidad alta y Sosa (1993) para el mezquite. Respecto al número de marcas de cuchilla por centímetro, indica que la de 29.3 fue la que generó mejores resultados, coincidiendo con Flores (1991), Quiñones y Herrera (1984) y Flores (1990). En el moldurado obtuvo resultados excelentes, coincidiendo con Moreno y Martínez (1984) y Sosa (1993) para especies de densidad similar. El defecto más frecuente fue el grano apelmusado

Sobre trabajos de maquinado realizados en otros países se tienen el de Cantin (1965) quien determinó las propiedades de maquinado de 16 especies canadienses; y más recientemente el de Williams *et al.* (1998) y el de Lihra *et al.* (1999), quienes determinaron las propiedades de maquinado de especies del Este de Canadá en el primer caso y de 15 especies de British Columbia en el segundo caso; el de Davis (1962) que describe las características de maquinado de maderas de latifoliadas de USA; el de Franklin (1961) que estudio entre otras características tecnológicas, las de maquinado de especies maderables de Puerto Rico; el de Lihra *et al.* (1999), el de Bendtsen (1978) y el de Hernández *et al.* (2001), que analizan el comportamiento de la madera proveniente de plantaciones y la comparan con las mismas especies de bosques naturales.

MATERIALES

Para la realización de este trabajo se utilizó la madera aserrada de las 34 especies tropicales indicadas en el Cuadro 1, con sus respectivas densidades básicas (Torelli, 1982), en dimensiones de 2.44 m (8') de longitud, 2.54 cm (1") de espesor y varios anchos. De estas tablas se prepararon 50 muestras de las dimensiones especificadas por la Norma ASTM-D-1666-64 (Figura 1), de las cuales se generaron las probetas para los ensayos de cepillado, lijado, torneado, taladrado y moldurado, para evaluar las características de maquinado.

Para evaluar la calidad del maquinado, se consideran los defectos que se presentan en forma de grano astillado,

grano apelmusado, grano levantado, grano rasgado, marcas de astillas y rayones, y para calificar a la madera se toma en cuenta la severidad y extensión de estos defectos en las probetas a través de las categorías de excelente, buena, regular, pobre y muy pobre o rechazada.

CUADRO 1. Relación de especies estudiadas en los ensayos de maquinado

Nombre técnico	Nombre común	Densidad kg·m ⁻³
<i>Schizolobium parahybum</i>	Palo de picho	300
<i>Dendropanax arboreus</i>	Sac-chacáh	400
<i>Poulsenia armata</i>	Masamorro	400
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	420
<i>Guatteria anomala</i>	Zopo	430
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	Amapola	440
<i>Pterocarpus hayesii</i>	Palo de sangre	450
<i>Spondias mombin</i>	Jobo	450
<i>Nectandra sp.</i>	Laurel	460
<i>Simarouba glauca</i>	Pasa'ak	460
<i>Vochysia hondurensis</i>	Maca blanca	460
<i>Talauma mexicana</i>	Jolmashté	490
<i>Cordia alliodora</i>	Bojón	490
<i>Pachira aquatica</i>	Palo de agua	500
<i>Pithecellobium leucocalyx</i>	Guacibán	520
<i>Guarea glabra</i>	Cedrillo	560
<i>Sebastiania longicuspis</i>	Chechén blanco	570
<i>Blepharidium mexicanum</i>	Popiste	600
<i>Misanteca pekii</i>	Pimientillo	600
<i>Zuelania guidonia</i>	Trementino	610
<i>Sickingia salvadorensis</i>	Chacahuanté	660
<i>Terminalia amazonia</i>	Canshán	660
<i>Vatairea lundellii</i>	Tinco	660
<i>Platymiscium yucatanum</i>	Chulul	660
<i>Vitex gaumeri</i>	Ya'axnik	670
<i>Aspidosperma magalocarpon</i>	Bayo	670
<i>Ampelocera hottlei</i>	Luín	690
<i>Quercus anglohondurensis</i>	Chiquinib de montaña	690
<i>Brosimum alicastrum</i>	Ramón	730
<i>Lonchocarpus castilloi</i>	Machiche	740
<i>Dipholis stevensonii</i>	Guaité	800
<i>Sweetia panamensis</i>	Chakté	800
<i>Swartzia cubensis</i>	Corazón azul	830
<i>Manilkara zapota</i>	Chicozapote	900

El número y dimensiones de las probetas para cada ensayo fueron:

Ensayo	No. de probetas	Dimensiones
Cepillado y lijado	50	2.5x10x90 cm (1"x4"x36")
Moldurado y taladrado	50	2.5x7.6x30 cm (1"x3"x12")
Torneado	50	2x2x12.5 cm (3/4"x3/4"x5")

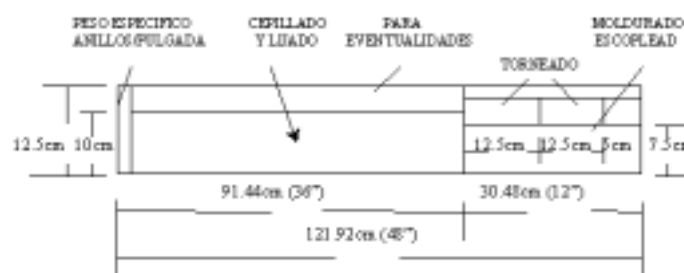


Figura 1. Diagrama de dimensiones y ubicación de probetas

Equipo y herramientas

Las características de los equipos y herramientas que se utilizaron en cada uno de los ensayos de maquinado, fueron:

Ensayo de cepillado

- Dos cepillos con cabezal de 50 cm de longitud, 18 cm de diámetro, con 4 ranuras para ángulo de corte de 30°, con 4,312 RPM con dos velocidades de avance de 12.52 y 7.32 m/min. El otro cepillo con 3 ranuras, con 6,200 RPM y una velocidad de avance de 20.25 m/min.
- Ocho cuchillas de 3 mm de espesor, 35 mm de ancho y 500 mm de longitud, con ángulo de filo de 45°.

Ensayo de taladrado

- Un taladro vertical de pedestal marca Karpinter con 4 velocidades del husillo: 610, 1280, 2390 y 5000 RPM; con un motor de 1/2 H.P.
- Dos brocas de acero rápido, de 2.54 cm de diámetro, con centro sólido y dos filos cortantes.

Ensayo de moldurado

- Una máquina trompo marca Invicta modelo Velox con 4 velocidades del husillo: 4000, 6000, 8000 y 10000 RPM; con motor de 5 H.P.

- b) Dos fresas con 6 filos cortantes de forma y dimensiones especificadas por la Norma.

Ensayo de torneado

- a) Una máquina torno semiautomática marca Gennari Armando, con dos velocidades de giro: 3,270 y 5,833 RPM; con motor de 5 H.P.
- b) Dos cuchillas especiales en acero rápido, con la forma y dimensiones especificadas por la Norma.

Ensayo de lijado

- a) Máquina lijadora de banda marca Invicta, para bandas de 15 cm de ancho x 7.30 m de longitud; con motor de 5 H.P.
- b) Dos bandas lijadoras del No. 60, dos del 80 y dos del No. 100

MÉTODOS

Evaluación de probetas

La evaluación de las probetas se realizó en forma visual con base en el grano apelmusado o veloso, grano levantado, marcas de astilla, grano astillado y grano rasgado. Para el taladrado se consideró el grano arrancado y la fibra comprimida. El lijado se evaluó con base en los rayones y fibra vellosa.

La presencia de los defectos se evaluó considerando la extensión de los defectos en la superficie de la probeta y la severidad de los mismos, con la siguiente cuantificación numérica (Cuadro 2):

CUADRO 2. Clasificación de los defectos con base en su extensión y severidad

Extensión del defecto	Categoría	Severidad del defecto	Categoría
1/5	1	Libre de defectos	1
2/5	2	Muy superficiales	2
3/5	3	Marcado	3
4/5	4	Pronunciados	4
5/5	5	Muy pronunciados	5

Fuente: Zavala Z.D. (1976).

Promediando la combinación numérica de los grados de las variables de extensión y severidad de los defectos, se estableció la forma de evaluación indicada en el Cuadro 3.

CUADRO 3. Sistema de evaluación de probetas de maquinado

Extensión	Severidad	Combinaciones	Promedios	Categoría
1	1	1 - 1	1	I- Excelente
2	2	---	---	---
3	3	2 - 2	2	---
4	4	2 - 3	2.5	II- Bueno
5	5	3 - 2	2.5	---
		2 - 4	3	---
		2 - 5	3.5	---
		3 - 3	3	---
		3 - 4	3.5	III- Regular
		4 - 2	3	---
		4 - 3	3.5	---
		5 - 2	3.5	---
		3 - 5	4	---
		4 - 4	4	---
		4 - 5	4.5	IV- Pobre
		5 - 3	4	---
		5 - 4	4.5	---
		5 - 5	5	V- Muy Pobre

Fuente: Zavala Z.D. (1976).

Para la evaluación general de las características de trabajabilidad, se consideró el porcentaje de probetas para cada una de las 5 categorías, como se indica en el Cuadro 4.

CUADRO 4. Clasificación de probetas en función del porcentaje de piezas libres de defectos.

Calificación	Características	% piezas
Excelente	Sin defectos	90 - 100
Bueno	Con defectos ligeros	80 - 90
Regular		60 - 80
Pobre	Con defectos severos	50 - 60
Muy pobre		< 50

Fuente: Zavala Z.D. (1976).

Ensayo de cepillado

La operación de cepillado consiste en hacer cortes perimetrales en las superficies de las tablas, para eliminar las asperezas del aserrío y para obtener superficies planas y de espesor uniforme.

Después del aserrío, el cepillado se considera una de las operaciones más importantes, por requerirse en la mayoría de los procesos para la fabricación de artículos a base de madera; por esta razón, este ensayo es el que se analiza con mayor profundidad en los trabajos de maquinado.

Para evitar el efecto de desgaste del filo de las cuchillas en la calidad del cepillado, se procesaron lotes de una probeta por especie (34 probetas), introduciéndose en el cepillo una inmediatamente después de la otra, marcándolas al salir de la máquina para controlar la cara cepillada y la dirección del grano.

Para determinar el desgaste del filo de las cuchillas y la necesidad de su reafilado, se utilizaron probetas de *Pinus montezumae*, procesándose la primera con cuchillas recién afiladas y otra cada 340 probetas, comparando ambas probetas para evaluar la calidad del cepillado. En general por cada lote de 1700 probetas, las cuchillas se afilaron dos veces para el ángulo de corte de 30 ° y tres veces para el ángulo de corte de 20 °.

Se realizaron un total de 6 ensayos o pruebas de cepillado, regulando la profundidad del corte a 2 mm (1/16"), y variando los ángulos de corte de las cuchillas y el número de marcas de cuchilla por centímetro, esta última variable es la resultante de la interrelación de la velocidad de avance de la madera, del número de cuchillas en el cabezal del cepillo y de las revoluciones de giro del cabezal (Cuadro 5).

CUADRO 5. Variables analizadas en el proceso de cepillado.

Ensayo Núm.	Ángulo de corte	Velocidad de avance m/min	Núm. cuchillas en el cabezal	Giro del cabezal rpm
1	30 °	12.52	4	4,312
2	30 °	7.32	4	4,312
3	20 °	12.52	4	4,312
4	20 °	7.32	4 <td 4,312	
5	20 °	20.25	3	6,200
6	30 °	20	3	6,200

Determinación del número de marcas de cuchilla en el cepillado

El número de marcas de cuchilla se refiere a la cantidad de golpes de cuchilla que recibe la tabla en un centímetro de su longitud durante el cepillado.

Para determinar el número de marcas de cuchilla se utilizó la fórmula descrita por la norma (ASTM, 1993):

$$\text{No. de marcas} = \frac{(A)(B)}{C \cdot 12}$$

Donde A = Revoluciones por minuto en el cabezal

B = Número de cuchillas en el cabezal

C = Velocidad de avance (m/min)

Con base en los datos del Cuadro 5, se ensayaron tres números de marcas de cuchilla por centímetro: 9.18, 13.77 y 23.56, (Cuadro 8).

Determinación de las...

Ensayo de torneado

El torneado es una operación que consiste en darle forma específica a una pieza de madera, haciéndola girar en un torno sometiendo a la acción de una herramienta cortante (Zavala, 1976). El torno para madera, más que ninguna otra máquina-herramienta, constituye una unidad completa, capaz de producir trabajos terminados en el proceso de la madera.

La cuchilla utilizada para toronar las probetas se fabricó conforme al diseño y especificaciones indicadas por la Norma utilizada para este trabajo, (Figura 2).

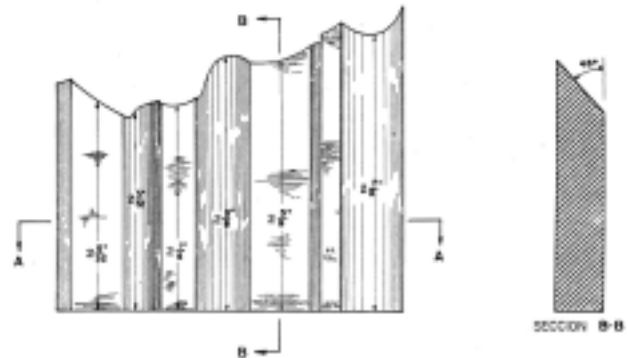


Figura 2. Características de la cuchilla utilizada en el torneado

Debido a las pequeñas dimensiones de las probetas, fue necesario cambiar tanto el punto impulsor como el contrapunto originales de los soportes de las piezas de madera del torno, por otros de fabricación especial en cuyo extremo en lugar de puntas se les adaptó una pieza cuadrada de 3/4" x 3/4", para evitar rajaduras por la penetración de las puntas y para facilitar la colocación de las probetas en el torno (Figura 3). Las probetas para el torneado se acondicionaron el 50 % a un 8 % de CH y el resto a 12 % de CH.

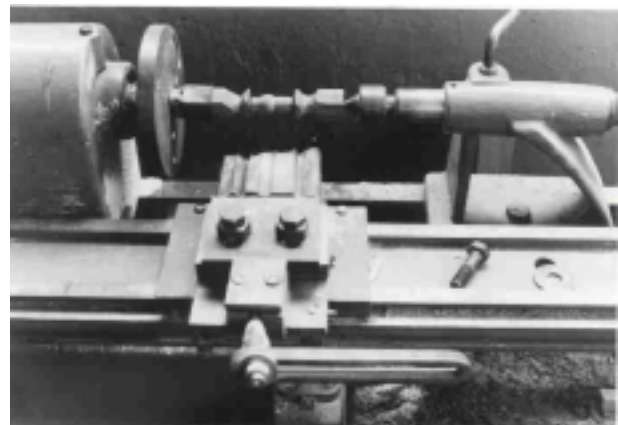


Figura 3. Ilustración del proceso de torneado

El avance de la cuchilla hacia la probeta se realizó en forma manual utilizando una palanca de la torreta donde se sujetó la herramienta. El avance se realizó en forma pausada pero tratando de mantenerlo constante a una velocidad con la cual se evitó la rotura de probetas que se producen cuando el avance es muy rápido, así como la presencia de quemaduras que se generan cuando el avance es muy lento. La cuchilla se ajustó a una altura con relación a la probeta para generar un diámetro de 1.2 cm (1/31") en la parte más delgada de la probeta (Figura 3).

De acuerdo con la Norma, la velocidad de giro empleada fue de 3,270 RPM, torneándose primero las probetas acondicionadas al 8 % de C.H., mezclando las especies para evitar el efecto del desgaste del filo de la cuchilla. Para las 1,700 probetas torneadas de las 34 especies, fue necesario afilar la cuchilla en 4 ocasiones, enviándose a un taller especializado en afilado debido a los diferentes ángulos de corte y concavidades que conforman el perfil cortante de la cuchilla.

Ensayo de moldurado

La operación de moldurado se realiza para formar un perfil determinado en los contornos de las piezas de madera con fines decorativos, por lo que la tersura del corte es muy importante para lograr un buen acabado de las piezas de madera.

Las molduradoras (trompos) en su forma más básica consisten de una mesa horizontal fija y un husillo vertical desplazable en altura, en el cual se montan las herramientas cortantes (fresas), realizándose el avance de la madera en forma manual. También existen molduradoras con dos o más husillos dispuestos horizontal o verticalmente y con avances automáticos regulables, que generan varios cortes y formas en un solo paso.

Las probetas utilizadas en este ensayo fueron las mismas que se usaron en el taladrado. Antes del moldurado se realizó un corte curvo a todas las probetas, siguiendo la parábola $Y^2 = 1.8X$, para evaluar el comportamiento de la madera en los cortes transversales, paralelos y diagonales al grano de la madera (Figura 4).



Figura 4. Características de la fresa y de las probetas utilizadas en el moldurado.

Las pruebas de moldurado se efectuaron a 4,000 RPM. La norma indica realizar el ensayo a 7,200 RPM,

pero no especifica el número de filos cortantes de las fresas. Para lograr una buena calidad de la superficie, Koch (1964), sugiere de 16 a 30 marcas de cuchilla por pulgada. En este trabajo el avance de las probetas se realizó en forma manual, tratando de mantenerlo a 29 m/min. (95 FPM), para obtener 8 marcas de cuchilla por cm (20 marcas de cuchilla por pulgada). Con la finalidad de analizar el efecto en la calidad del acabado, también se realizó otro ensayo a 6,000 RPM, con la misma velocidad de avance, generando 13 marcas de cuchilla por cm. (32 marcas por pulgada).

Para sujetar la probeta y facilitar su avance uniforme hacia la fresa, se elaboró una plantilla guía, como se observa en la Figura 5. En el husillo porta fresas se acondicionó un balero de bolas para facilitar el deslizamiento de la plantilla.

Después de cada corte, se inspeccionaron las probetas exponiéndolas a la luz natural y se evaluaron con base en los defectos descritos anteriormente.



Figura 5. Plantilla y probeta en el proceso de moldurado

Ensayo de taladrado

La operación de taladrado consiste en la perforación de piezas de madera mediante una broca. Se realiza para ensamblar a través de taquetes, espigas o tornillos, componentes de sillas, de muebles u otras piezas de madera; con taladros manuales o con taladros automáticos de varias brocas.

La calidad del taladrado se relaciona con la precisión de las perforaciones y la tersura de la superficie producida, puesto que la presencia de vellosidades excesivas o de astilladuras profundas ocasionan que los taquetes o espigas no se ensamblen adecuadamente, o que requieran mayor cantidad de pegamento.

Para el ensayo de taladrado, la Norma recomienda utilizar una velocidad de giro de la broca de 3,600 RPM. Sin embargo, Cantín (1965) señala que esta velocidad genera demasiadas quemaduras por fricción, especialmente en maderas duras; para evitar este efecto, se realizó un estudio preliminar a 800, 1,330 y 2,190 RPM, determinándose que a 1,330 y 2,190 RPM se reducía considerablemente este problema, optando por utilizar en este estudio 2,390 RPM; coincidiendo con Davis (1962) quien realizó el ensayo de taladrado a 2,400 RPM.

En cada una de las probetas ensayadas, se realizaron dos perforaciones, como se indica en la Figura 6. Para ubicar las perforaciones en el mismo lugar en todas las probetas y facilitar la operación del taladrado, se elaboró un escantillón que se fijó a la mesa del taladro (Figura 6).



Figura 6. Ilustración del proceso de taladrado.

El avance de la broca hacia la madera se realizó en forma manual, a una velocidad de avance promedio similar en todas las perforaciones de 75 cm por minuto, velocidad relativamente baja, pero con la cual se logró que la broca fuese cortando la madera en lugar de astillarla.

Ensayo de lijado

El propósito del lijado es suprimir los defectos ocasionados por operaciones previas de maquinado y

preparar la superficie de la madera para la aplicación de recubrimientos o acabados (pinturas, barnices etc.), y en algunas maderas para resaltar su veteado.

Para la evaluación del ensayo del lijado se utilizaron las 50 probetas por especie provenientes del ensayo de cepillado.

De acuerdo a las especificaciones de la Norma, se utilizaron tres tipos de lijas con grano de 60, 80 y 100, procesando primero todas las probetas con la lija del No. 60, posteriormente con la de 80 y al final con la de 100. La evaluación de las probetas se realizó después de procesarlas con la lija del grano 100.

El lijado se efectuó presionando uniformemente en forma manual la zapata lijadora sobre las probetas. Las probetas se evaluaron visualmente, clasificándolas en los rangos del I al V, como se indica en el Cuadro 3, con base a los defectos de rayones y vellosidades.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la finalidad de facilitar el análisis de los resultados de este trabajo, cada ensayo se evaluó en forma separada, integrando al final un análisis general de todas las pruebas realizadas.

Análisis de resultados del cepillado

Después de cada uno de los ensayos indicados en el Cuadro 5, las probetas se evaluaron visualmente exponiéndolas a la luz natural, y para definir las características de cepillado de cada especie, se integraron los resultados de las probetas de los 6 ensayos realizados, con base en los porcentajes de piezas libres de defectos para cada una de las cinco categorías de la clasificación del maquinado (Cuadro 6).

De estos resultados se infiere que 13 especies se pueden considerar con características de cepillado apropiadas para la elaboración de productos donde la tersura es una condicionante. Otras 14 especies requieren procesos posteriores para eliminar las asperezas (lijado con combinación de lijas de grano fino), y 7 especies se recomienda que se utilicen en productos que no requieran superficies tersas.

Con la finalidad de definir las condiciones más adecuadas de cepillado para cada especie estudiada, se analizó el efecto de los ángulos de corte de las cuchillas del cepillo y del número de marcas de cuchilla en la calidad del cepillado o tersura de la superficie de la madera procesada, con los resultados que se indican en los siguientes incisos.

CUADRO 6. Características de cepillado de las especies estudiadas

Especie	% de piezas	Especie	% de piezas
Excelente			
Zopo	96	Machiche	74
Palo de agua	95	Cedrillo	74
Chicozapote	94	Pasa'ak	73
Amapola	94	Pimientillo	73
Popiste	92	Ya'axnik	72
Jolmashté	91	Chacahuanté	72
Bueno			
		Chiquinib	71
Ramón	89	Canshán	69
Caoba	87	Trementino	64
Luín	84	Chechén blanco	62
Palo de sangre	84	Pobre	
Bojón	82	Chakté	59
Corazón azul	80	Palo de picho	52
Chulul	80	Muy pobre	
Regular			
		Laurel	48
Guaité	77	Maca blanca	42
Jobo	77	Guacibán	38
Sac-chacáh	77	Tinco	36
Bayo	77	Masamorro	26

Efecto del ángulo de corte en el cepillado

El ángulo de corte es el ángulo que se forma entre la línea tangencial de la cara frontal de la cuchilla y una línea radial del centro a la periferia del cabezal porta cuchillas, como se muestra en la Figura 7, para el ángulo de corte de 30° y bisel de la cuchilla para generar el ángulo de corte de 20°.

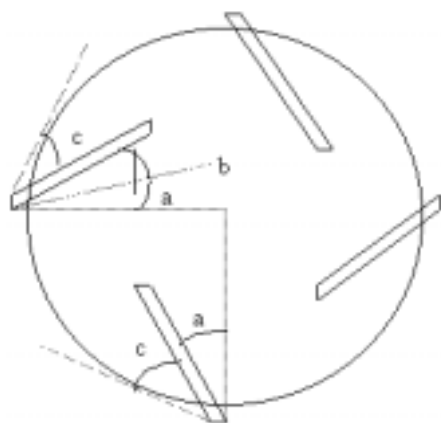


Figura 7. Portacuchillas con: a) ángulo de corte, b) bisel, c) ángulo libre.

Comparando el efecto en la calidad del cepillado de las cuchillas con ángulo de corte de 20°, con las de ángulo de 30°, se observó una variación pequeña en el porcentaje de probetas con la categoría de excelente. Sin embargo, se puede inferir que las maderas blandas se cortan mejor con ángulo de corte de 30°, y las duras con ángulo de 20°, con excepción del chulul, guaité, ya'axnik y tinco, consideradas como maderas duras; y del palo de agua, jolmashté, palo de sangre, chechén blanco y laurel, consideradas como maderas blandas, con resultados inversos en ambos casos (Cuadro 7).

CUADRO 7. Efecto del ángulo de corte en la calidad del cepillado, evaluado en porcentaje de piezas libres de defectos.

Especie	Ángulo de corte		Especie	Ángulo de corte	
	30°	20°		30°	20°
Zopo	99 %	94 %	Bayo	73 %	81 %
Amapola	98	91	Pasa'ak	74	71
Palo de agua	94	96	Ya'axnik	79	64
Chicozapote	91	96	Machiche	67	81
Jolmashté	90	92	Pimientillo	70	76
Caoba	89	85	Palo de picho	71	34
Chulul	89	71	Chacahuanté	68	76
Popiste	88	95	Chiquinib	64	78
Guaité	78	76	Canshán	67	71
Luín	82	86	Trementino	58	71
Jobo	82	71	Chechén blanco	57	67
Ramón	81	97	Chakté	51	68
Bojón	78	84	Laurel	43	54
Sac-chacáh	78	76	Maca blanca	46	39
Cedrillo	82	67	Guacibán	41	35
Palo de sangre	72	96	Tinco	39	33
Corazón azul	75	86	Masamorro	30	21

Nota: El porcentaje de probetas se obtuvo promediando los resultados de los tres ensayos de cepillado con cada ángulo.

Efecto del número de marcas de cuchilla en el cepillado

El efecto del número de marcas de cuchilla se analizó evaluando tres variables: 9.18, 13.77 y 23.56 marcas de cuchilla por cm (Cuadro 8).

CUADRO 8. Efecto del número de marcas de cuchilla en la calidad del cepillado, evaluado por el porcentaje de probetas libres de defectos.

Especie	No. de marcas de cuchillas por cm			Especie	No. de marcas de cuchillas por cm		
	9.18	13.77	23.56		9.18	13.77	23.55
Zopo	91%	100%	99%	Cedrillo	47 %	80 %	97 %
Palo de agua	86	100	100	Bojón	58	74	83
Chicozapote	83	98	100	Pasa'ak	54	85	80
Amapola	89	98	98	Pimientillo	59	73	87
Popiste	79	97	100	Ya'axnik	30	94	91
Jolmashté	81	95	98	Chacahuanté	34	86	98
Ramón	84	85	99	Chiquinib	34	86	98
Caoba	73	92	96	Canshán	53	72	83
Luín	86	77	90	Trementino	10	90	94
Palo de sangre	67	88	97	Chechén blanco	41	65	81
Corazón azul	62	83	96	Chakté	27	66	85
Chulul	44	96	100	Palo de picho	55	50	52
Guaité	60	81	91	Laurel	18	63	65
Jobo	50	91	89	Maca blanca	41	54	33
Sac-chacáh	65	87	79	Guacibán	30	47	38
Bayo	52	80	100	Tinco	17	33	58
Machiche	46	88	90	Masamorro	8	33	36

Nota: El porcentaje de probetas se obtuvo promediando los resultados de los dos ángulos de corte por cada número de marcas de cuchilla.

Coincidiendo con otros trabajos (Franklin 1961, Davis 1962, Cantin 1965, Zavala 1976, 1988, 1992, Torelli 1982, Flores 90, Flores 1991, Goche 1993, Tonacatl 1995), a un mayor número de marcas correspondió un mejor acabado, con excepción del zopo, jobo, sac-chacáh, pasa'ak y guasibán, que se clasifican de acuerdo a su densidad como maderas blandas, las cuales presentaron mejor acabado con 13.77 marcas de cuchilla por centímetro, disminuyendo la calidad al aumentar a 23.56 el número de marcas de cuchilla.

Resumiendo los resultados obtenidos con las diferentes combinaciones de los ensayos indicadas en el Cuadro 5, referente al ángulo de corte, velocidad de avance en $m \cdot min^{-1}$, número de cuchillas en el cabezal y revoluciones del cabezal del cepillo, en el Cuadro 9 se integran las combinaciones más adecuadas por especie para lograr un buen cepillado.

En el caso del zopo y el palo de agua, se obtiene un cepillado excelente con cualquiera de las cuatro combinaciones indicadas en el Cuadro 9; en cambio en la maca blanca, guacibán, tinco y masamorro, todas las combinaciones generaron resultados pobres y las combinaciones menos malas fueron la 3, 1, (2,4) y 2 respectivamente. El laurel, por ejemplo, la clasificación general del cepillado fue muy mala o muy pobre, sin embargo, con la combinación de variables de los ensayos 3 y 4, se logró un cepillado de categoría regular.

CUADRO 9. Combinación de variables más adecuadas para generar un buen cepillado

Especie	Combinación	Categoría	Especie	Combinación	Categoría
Zopo	1,3,4,6	Excelente	Machiche	4	Excelente
Palo de agua	1,2,3,4	Excelente	Cedrillo	2	Excelente
Chicozapote	2,3,4	Excelente	Pasa'ak	1	Excelente
Amapola	1,4,6	Excelente	Pimientillo	4	Excelente
Popiste	2,3,4	Excelente	Ya'axnik	1	Excelente
Jolmashté	3,4	Excelente	Chacahuanté	2	Excelente
Ramón	4,5	Excelente	Trementino	3	Excelente
Caoba	2,3	Excelente	Chechén blanco	4	Excelente
Luín	2,3	Excelente	Chiquinib	4	Bueno
Palo de sangre	3,4	Excelente	Canshán	4	Bueno
Bojón	3,4	Excelente	Chakté	4	Bueno
Corazón azul	4	Excelente	Palo de picho	1	Bueno
Chulul	2,3,4	Excelente	Laurel	3,4	Regular
Guaité	3	Excelente	Maca blanca	3	Pobre
Jobo	1	Excelente	Guacibán	1	Pobre
Sac-chacáh	4	Excelente	Tinco	2,4	Pobre
Bayo	2,4	Excelente	Masamorro	2	Pobre

Análisis de resultados del torneo

Las probetas torneadas se analizaron visualmente exponiéndolas a la luz natural, evaluándolas en una escala del 1 al 5, con base en la presencia o ausencia de los defectos de grano velloso, grano astillado y grano rasgado.

Siguiendo las especificaciones de la Norma para la evaluación de las características del torneado, para cada especie se sumaron las probetas con los grados 1, 2 y 3 en cada contenido de humedad (Cuadro 10). Posteriormente se promediaron los resultados de los dos contenidos de humedad para la clasificación final del ensayo de torneado, (Cuadro 11).

En el Cuadro 10, se observa que aún cuando el 70% de las especies estudiadas se clasifican como excelentes, existen diferencias marcadas entre ellas, como es el caso del chicozapote con un promedio de 84 %, con 54 % para el grado 1 y únicamente 4 % en el grado 3 para el ensayo con 8 % de CH y de 76 % para el grado 1 y 4 % para el grado 3 para el ensayo con 12 % de CH; mientras que en el palo de

agua el promedio fue de 96 %, con 0 % para el grado 1 y 48 % para el grado 3 para probetas con 8 % de CH, y de 0 % y 48 % para el grado 1 y 3 respectivamente para probetas de 12 % de CH. Posiblemente lo más adecuado, como indica Cantin (1965), sea calificar el torneado con base en la suma de los grados 1 y 2, considerando los promedios de las probetas en ambos contenidos de humedad de 8 % y 12 %; en cuyo caso únicamente el ramón y el chachahuanté se clasificarían como excelentes, y el luín, el bayo, el canshán, el corazón azul, el chakté y el chicozapote como buenas.

Con relación al contenido de humedad, no se manifestó una diferencia importante entre el 8 % y el 12 %, con una leve tendencia hacia el 12 %. Flores (1990) reporta mejores resultados con 12 % de CH en contraste con el 7 % de CH.

CUADRO 10. Características de torneado, por contenido de humedad, de las especies estudiadas, evaluadas por el porcentaje de probetas libres de defectos.

Especie	Contenido humedad 8 %			Suma	Contenido humedad 12 %			Suma
	Grado1	Grado2	Grado3		Grado1	Grado2	Grado3	
Guaité	28 %	56 %	16 %	100 %	0 %	50 %	50 %	100 %
Corazón azul	11	58	31	100	36	59	5	100
Canshán	5	68	27	100	17	78	5	100
Pimientillo	0	60	40	100	13	50	37	100
Jolmashté	19	57	24	100	0	67	33	100
Popiste	0	62	38	100	5	79	16	100
Cedrillo	0	41	59	100	13	87	0	100
Bayo	0	77	23	100	27	69	4	100
Palo de agua	0	48	48	96	0	52	48	100
Chakté	36	48	16	100	4	72	20	98
Zopo	14	57	29	100	0	40	56	96
Luín	0	83	17	100	36	56	4	96
Amapola	0	47	53	100	0	74	22	96
Ramón	29	53	12	94	48	52	0	100
Chulul	56	32	4	92	4	60	36	100
Chachahuanté	50	40	5	95	76	16	4	96
Ya'axnik	0	71	29	100	4	39	48	91
Chechén blanco	0	18	78	96	0	16	76	92
Machiche	0	47	47	94	0	56	44	96
Laurel	0	39	55	94	0	54	38	92
Caoba	16	38	46	100	46	13	25	84
Tinco	0	38	44	82	42	50	8	100
Chiquinib	0	57	34	91	4	50	37	91
Trementino	0	56	32	88	0	50	45	95
Palo de sangre	0	61	26	87	0	38	54	92
Sac-chacáh	0	26	64	90	8	32	36	76
Chicozapote	54	26	4	84	76	4	4	84
Pasa'ak	15	46	22	83	28	32	23	83
Bojón	0	21	61	82	0	26	53	77
Jobo	0	14	63	77	5	14	41	60
Guacibán	0	5	50	55	0	35	30	65
Masamorro	0	13	44	57	0	4	56	60
Maca blanca	0	0	37	37	0	4	57	61
Palo de picho	0	0	15	15	0	0	32	32

Con la integración de la información de los dos contenidos de humedad, se determinó la clasificación final del ensayo de torneado, considerando el porcentaje de piezas de las categorías excelentes, buenas y regulares; obteniéndose 24 especies o el 70 % como excelentes, (Cuadro 11).

CUADRO 11. Resultados generales del ensayo de torneado, evaluados por el porcentaje de probetas libres de defectos.

Especies	% de piezas E + B + R	Especies	% de piezas E + B + R
Excelente			
Guaité	100	Laurel	93
Corazón azul	100	Caoba	92
Canshán	100	Tinco	91
Pimientillo	100	Chiquinib	91
Jolmashté	100	Trementino	91
Popiste	100	Bueno	
Cedrillo	100	Palo de sangre	89
Bayo	100	Sac-chacáh	88
agua	98	Chicozapote	84
Chakté	98	Pasa'ak	83
Zopo	98	Regular	
Luín	98	Bojón	74
Amapola	97	Jobo	68
Ramón	97	Guacibán	60
Chulul	96	Pobre	
Chacahuanté	95	Masamorro	49
Ya'axnik	95	Muy pobre	
Chechén blanco	94	Maca blanca	49
Machiche	94	Palo de picho	23

E,B,R = Excelente, Bueno y Regular, respectivamente.

A diferencia de otros ensayos, de los trabajos realizados sobre maquinado, hay varios que no efectuaron el ensayo del torneado (Torelli, 1982; Goche, 1993; Martínez *et al.*, 1996), y de los que lo realizaron se limitaron a un solo contenido de humedad de la madera (Herrera, 1981; Quiñones *et al.*, 1984; Flores, 1991; Tonacatl, 1995). Esto pudo deberse a la dificultad de obtener la cuchilla de corte con las especificaciones establecidas por la Norma y en la adecuación del torno para montar la cuchilla. Sin embargo, por la importancia de este proceso en la elaboración de componentes torneados para la fabricación principalmente de muebles, se considera necesario realizar este ensayo para poder definir con mayor precisión las características de maquinado de la madera.

Análisis de resultados del moldurado

Para la evaluación de las características de los ensayos de moldurado, se integró la evaluación de las categorías

excelente y bueno de las probetas de dos ensayos, con 8 y con 13 marcas de cuchilla por centímetro, (Cuadro 12).

La calidad del moldurado descendió ligeramente en el segundo ensayo, correspondiente a 13 marcas de cuchilla por centímetro, lo cual podría deberse a que las molduradoras con velocidades de husillos entre 6,000 a 7,200 RPM, están limitadas a operar con una sola cuchilla de corte, en tanto que a una velocidad de 3,600 RPM el número de cuchillas puede incrementarse en proporción directa a la velocidad de avance (Koch, 1964). Otro factor importante podría ser la velocidad periférica del corte, que de acuerdo con Davis (1962), resulta más significativa que el número de RPM, ya que se ha establecido una relación inversamente proporcional entre el diámetro de corte y la velocidad de giro, o sea a mayor diámetro de corte menor número de RPM y viceversa.

En general, las especies con excelente calidad de moldurado se comportaron bien en los dos ensayos, con 8 y con 18 marcas de cuchilla por centímetro.

Los defectos que se presentaron en orden de importancia fueron la fibra levantada en la parte curva de la probeta en la mayoría de las especies; la fibra vellosa se presentó en la sección paralela del grano en las especies con densidad media y baja, y la fibra astillada en esta misma sección en las especies con densidad media y alta.

Las especies clasificadas en la categoría de muy pobre, presentaron los tres tipos de defectos, a excepción del tinco el cual no presentó la fibra vellosa.

Con respecto a las características estéticas de la madera, los mejores resultados se obtuvieron en aquellas especies con textura mediana e hilo recto.

Análisis de resultados del taladrado

Las perforaciones de las probetas se evaluaron con base en la presencia o ausencia de los defectos descritos anteriormente.

Para determinar el comportamiento de la madera al taladrado, se tomó como base el porcentaje de probetas con la categoría de excelente y bueno, de cada especie. Los mejores resultados se obtuvieron en las maderas de densidad media y alta, con excepción del chulul y del tinco, clasificadas como regular y muy mala respectivamente (Cuadro 13). El defecto más común en todas las especies fue el grano apelmusado, presentándose con mayor severidad y extensión en las maderas de densidad baja. En el caso de tinco, además del grano apelmusado se presentó en igual proporción el grano levantado.

En el pasa'ak, sac-chacáh, palo de picho, jobo y guaciban, se presentó además del grano apelmusado, el grano comprimido.

CUADRO 12. Características de moldurado de las especies estudiadas

Especie	Probetas1	Probetas2	Especie	Probetas1	Probetas2
	E + B	E + B		E + B	E + B
Excelente			Regular		
Palo de agua	100	100	Sac-chacáh	74	42
Chicozapote	100	100	Zopo	74	91
Jolmashté	100	100	Caoba	68	52
Chacahuanté	100	100	Chakté	68	40
Guaité	100	100	Laurel	62	44
Machiche	98	73	Pobre		
Popiste	98	92	Palo de sangre	56	40
Corazón azul	97	69	Canshán	54	38
Ramón	96	92	Pimientillo	50	17
Amapola	96	93	Muy pobre		
Luín	92	83	Chulul	44	67
Bueno			Ya'axnik	43	69
Trementino	89	78	Cedrillo	39	90
Bayo	86	28	Chechén blanco	39	39
Pasa'ak	84	44	Jobo	27	53
Chiquinib	80	56	Maca blanca	23	10
Bojón	80	54	Tinco	20	12
			Guacibán	6	0
			Masamorro	4	19
			Palo de picho	0	2

E + B = Sumatoria de Excelente y Bueno

1) 8 marcas de cuchilla por centímetro y velocidad periférica de 29 m-seg⁻¹.2) 13 marcas de cuchilla por centímetro y velocidad periférica de 47 m-seg⁻¹.

CUADRO 13. Características del taladrado en las especies estudiadas

Especie	% de piezas excelente + bueno	Especie	% de piezas excelente + bueno
Excelente		Excelente	
Corazón azul	100	Palo de agua	100
Chicozapote	100	Caoba	100
Guaité	100	Jolmashté	100
Chiquinib	100	Palo de sangre	100
Luín	100	Amapola	91
Machiche	100	Bueno	
Chakté	100	Pasa'ak	88
Chacahuanté	100	Laurel	82
Bayo	100	Sac-chacáh	82
Trementino	100	Regular	
Ramón	100	Chulul	75
Canshán	100	Pobre	
Ya'axnik	100	Palo de picho	54
Chechén blanco	100	Bojón	51
Cedrillo	100	Muy pobre	
Pimientillo	100	Tinco	40
Masamorro	100	Jobo	36
Popiste	100	Guacibán	32
Zopo	100	Maca blanca	31

Análisis de resultados del lijado

Del análisis de los resultados del ensayo de lijado (Cuadro 14), y coincidiendo con otros trabajos, (Davis, 1962; Zavala, 1976; Martínez, *et al.*, 1996), las maderas más densas están más propensas a los rayones, como en el caso del bayo y del guaité que resultaron severamente afectados por este defecto, y en menor grado el chiquinib, el ya'axnik y el chulul. En las especies menos densas se presentó el defecto de fibra vellosa, como en el laurel, el pasa'ak, la caoba, el pimientillo y el chechén blanco.

La mayoría de las especies se clasificaron en el rango excelente, que correspondió a las de textura mediana e hilo recto, sin embargo, no se puede generalizar puesto que el pasa'ak, el jobo, el bayo y el sac-chacáh que tienen estas características anatómicas, quedaron clasificadas en los rangos IV y V. En forma similar se clasifican las especies con textura fina e hilo recto. La combinación que definitivamente afecta la calidad del lijado es la textura gruesa y el hilo entrecruzado.

CUADRO 14. Características de lijado de las especies estudiadas

Especies	% Probetas libres de defectos	Especies	% Probetas libres de defectos
Excelente		Regular	
Chicozapote	100	Cedrillo	78
Corazón azul	100	Palo de picho	76
Chacahuanté	100	Trementino	71
Ramón	100	Maca blanca	68
Chakté	100	Caoba	67
Popiste	100	Masamorro	62
Tinco	100	Pobre	
Amapola	100	Laurel	58
Palo de sangre	100	Pimientillo	55
Luín	98	Pasa'ak	54
Machiche	97	Guacibán	55
Ya'axnik	93	Jobo	52
Jolmashté	92	Chechén blanco	52
Canshán	92	Muy pobre	
Zopo	90	Bayo	42
Bueno		Sac-chacáh	40
Chiquinib	88	Guaité	38
Chulul	87		
Palo de agua	86		
Bojón	84		

Determinación de las...

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la revisión de literatura, se concluye que el sistema de clasificación de las probetas libres de defectos para evaluar las características del maquinado, difiere entre estudios, específicamente en los rangos de porcentajes para las categorías de excelente, bueno, regular, malo o pobre y rechazado o muy pobre.

De los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que 25 especies presentan características adecuadas de cepillado, por lo que se pueden utilizar en componentes donde se requiere un acabado terso. En las 9 especies con resultados negativos se puede mejorar la calidad del cepillado utilizando la combinación más adecuada de variables que se indican en el Cuadro 9. En 5 de ellas se puede mejorar la tersura de la superficie con las operaciones de lijado; quedando únicamente 4 especies (maca blanca, guacibán, tinco y masamorro) que no se recomendarían utilizarse para productos donde la tersura sea una condicionante.

En este estudio no existe una relación bien definida entre la densidad de la madera y la calidad del cepillado, sin embargo considerando únicamente los ángulos de corte y el número de marcas de cuchilla, se concluye que en las maderas de alta densidad se obtienen mejores resultados con ángulos de corte de 20° y en las de baja densidad con ángulos de 30°, y que la calidad de cepillado es directamente proporcional con el número de marcas de cuchilla por centímetro.

El proceso de torneado se realiza en piezas que regularmente se integran como componentes de diversos productos. De las especies estudiadas, 31 presentan buenas características de tersura y se sugiere que se utilicen en piezas torneadas, y las tres restantes que se clasificaron como pobres y muy pobres, se podrían utilizar en componentes donde la tersura no sea una limitante. El contenido de humedad tiene poco efecto en la calidad del torneado.

El moldurado se realiza en piezas que se utilizan para adornar componentes de otros trabajos, y la tersura es una condicionante de las maderas que se utilizan para este fin. De las especies estudiadas, 13 que representan el 38 %, presentaron características pobres y muy pobres, debido al efecto del corte en forma inclinada o perpendicular al grano de la madera. De estas 13 especies, si se produce moldura con corte longitudinal, seguramente el número de especies con resultados negativos se reduzca a 5, que son las que generaron resultados pobres en el cepillado (maca blanca, tinco, guacibán, masamorro y palo de picho).

El proceso de taladrado se considera que no afecta la apariencia de tersura de la madera, pero puede influir en la calidad de los productos por deficiencias en el ensamble.

De las especies estudiadas, un alto porcentaje (70 %), presentaron características de taladrado excelentes, y únicamente seis especies (17 %) se clasificaron como pobres y muy pobres (palo de picho, bojón, tinco, jobo, guacibán, maca blanca), que coinciden prácticamente con la misma clasificación de los ensayos anteriores.

El objetivo del lijado es eliminar asperezas de la superficie de la madera, que puede ser factible con la combinación apropiada de lijas. Sin embargo, el eliminar las asperezas puede ocasionar también una reducción en dimensiones de la madera, que la haría inadecuada para el uso predefinido, lo que fundamenta la importancia de la calidad de los otros procesos analizados (cepillado, torneado y moldurado). En este estudio, 15 especies se clasificaron como excelentes, cuatro como buenas, seis regulares y nueve como pobres y muy pobres.

Integrando los resultados de cada uno de los ensayos de maquinado, se determinó que 9 especies se pueden considerar de características de trabajabilidad excelentes, 11 se clasifican como buenas, ocho como regulares, cuatro como pobres o malas y dos como muy pobres o muy malas. Con base en esta proporción, 28 especies se pueden utilizar para trabajos donde la tersura del acabado es importante, como en muebles, productos torneados (mangos para herramientas), artesanías, ebanistería en general, etc. Las seis especies con resultados pobres de maquinado, se recomiendan para usos donde la tersura no sea una condicionante, como tarimas, cajas para empaques, polines, y en la construcción en general, u otros usos de madera áspera.

LITERATURA CITADA

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1993. Standard Methods of Conducting Machining Test of Wood-Based Panels. ASTM Designation D-1666-64. pp 348-373.
- BENDTSEN, B. A. 1978. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Prod. J.* 28(10): 61-72.
- CANTIN, M. 1965. The machining properties of 16 Canadian woods. *Publ. Dept. For. Can. No. 1111.* 27 p.
- DAVIS, E. M. 1962. Machining and related characteristics of United States Hardwoods, USDA. *For. Ser. Tech. Bull. No. 1267.* 68 p.
- FLORES, G. E. 1991. Características de maquinado y comparación de dos aleaciones de acero de las cuchillas en el cepillado de tres especies de encino del estado de Guanajuato. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 48 p.
- FLORES, V. R. 1990. Características de maquinado de cuatro especies maderables de encino del estado de Puebla. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 65 p.
- FRANKLIN, R. L. 1961. Puerto Rico woods, their machining, seasoning and related characteristics. USDA. *For. Ser. Agricultural Handbook No. 205.* 97 p.
- GOCHE, T. J. R. 1993. Estudio tecnológico de la madera de *Quercus sideroxylla* del estado de Durango. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 62 p.
- HERNÁNDEZ, E. R.; BUSTOS, C.; FORTÍN, Y.; BEAULIEU, J. 2001. Wood machining properties of white spruce from plantation forest. *Forest Prod. J.* 51(6): 82-88 p.
- HERRERA, B. A. 1981. Avance en la determinación de las características de maquinado de cinco especies de encino que vegetan en México. *Ciencia Forestal. INIF.* 34 (6): 45-63 p.
- KOCH, P. 1964. *Wood Machining Processes.* Federick F. (ed) Wangard Yale University. USA. 530 p.
- LIHRA, T.; GANEV, S. 1999. Machining properties of Eastern species and composite panels. Project No.2306. Forintek Canada Corp., Québec, Canada.
- MARTÍNEZ, C. J. F.; MORENO, Z. F. 1984. Estudio de trabajabilidad de cuatro especies de maderas mexicanas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 58 p.
- MARTÍNEZ, C. J. L.; MARTÍNEZ, P. C. E. 1996. Características de maquinado de 32 especies de madera. *Madera y Bosques.* 2(1): 45-62 p.
- MARTÍNEZ, P. C. E.; MARTÍNEZ, C. J. L. 1996. Características de cepillado y lijado de 33 especies de madera. *Madera y Bosques.* 2 (2): 11-27 p.
- QUIÑONES, O. J.; HERRERA, B. A. 1984. Potencialidad y utilización de los encinos en el norte del país. *Ciencia Forestal. INIF.* 52 (9): 3-10 p.
- SOSA, J. J. 1993. Características anatómicas, propiedades físico-mecánicas y maquinado del mezquite (*Prosopis laevigata*) en Guanajuato. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 76 p.
- TONACATL, M. L. 1995. Caracterización tecnológica de la madera de *Matudaea trinervia* Lundell. (Quebracho), del Estado de Puebla. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 82 p.
- TORELLI, N. 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas. *Dir. Gral. Des. Ftal. SFF.SARH.* 71 p.
- WILLIAM, D.; MORRIS, R. 1998. Machining and related mechanical properties of 15 B.C. wood species. *Special pub. No. SP-39.* Forintek Canada Corp., Vancouver, B.C. Canada.
- ZAVALA, Z. D. 1976. Características de maquinado de 6 especies maderables. Tesis Profesional. ENA. Chapingo, Méx. 68 p.
- ZAVALA, Z. D. 1988. Factores que influyen en las características de maquinado de la madera. En *Memorias del IV Seminario Nacional de la Industria Maderera.* México. pp 132-144.
- ZAVALA, Z. D. 1992. Influencia de la interrelación máquina-madera en la calidad de la superficie de las piezas procesadas. *Periódico Industrial.* No. 24. Sept.1992. pp14-15.