

MAQUINADO DE DOS ESPECIES DE ENCINO (*Quercus affinis* y *Q. crassifolia*) DEL ESTADO DE GUANAJUATO

Rogelio Flores Velázquez¹, Martha Elena Fuentes López¹
y Juan Quintanar Olguín¹

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento al maquinado de la madera de *Quercus affinis* y *Q. crassifolia* provenientes del estado de Guanajuato, en las operaciones de cepillado, torneado, barrenado, moldurado y lijado. Los ensayos se realizaron de acuerdo con la norma ASTM D 1666-87, efectuando modificaciones a los ensayos de cepillado y lijado. *Q. affinis* presentó excelentes resultados en cepillado con los ángulos de corte de 15, 20 y 25° para los dos números de marcas de cuchilla probados (29.3 y 16.9). Para el ángulo de 30° los resultados fueron buenos sólo cuando se utilizó el mayor número de marcas de cuchilla por cm. *Q. crassifolia* reportó excelentes resultados con los ángulos de 15 y 20°, con el ángulo de 25° sólo se tuvieron resultados excelentes utilizando 29.3 marcas de cuchilla por cm. Para el ángulo de corte de 30° los resultados fueron regulares y pobres con 29.3 y 16.9 marcas de cuchilla por cm, respectivamente. Las dos especies presentaron un buen torneado a contenidos de humedad de 16 y 8%. El barrenado de ambas especies fue excelente con velocidades de giro de 1300 y 2460 rpm. El moldurado de las especies fue regular, la desclasificación de las probetas se debió al grano astillado producido al hacer el cambio de corte transversal al longitudinal. Las dos especies muestran un excelente lijado.

Palabras Clave: Barrenado, cepillado, encino, lijado, maquinado, torneado.

ABSTRACT

Wood machining behaviour in planing, boring, sanding and turning operations was assessed in wood from trees of *Quercus affinis* and *Q. crassifolia* collected in the state of Guanajuato, Mexico. These operations were tested

Fecha de recepción: 22 de enero de 2002.

Fecha de aceptación: 30 de septiembre de 2004.

¹ Campo Experimental San Martinito, C.I.R. Centro, INIFAP. Correo-e: cesmar@compu-redes.net.mx

according to the American Society for Testing and Materials Standards (ASTM D 1666-87), using chip marks of 29.3 and 16.9. However, the aforementioned standard was modified for planing and sanding tests. Results showed that wood of *Q. affinis* was excellent for planing, using cutting angles of 15, 20 and 25° for both tested chip marks (29.3 and 16.9). Similarly, wood of *Q. crassifolia* showed excellent planing in cutting angles of 15 and 20°, while the cutting angle of 25° produced good and fair planing grades for chip marks of 29.3 and 16.9, respectively. The wood of both species showed good turning grades at moisture contents of 16 and 8%. Boring operations was excellent in wood from both species with spindle speeds of 1300 and 2460 r/min, although shaping was fair for both species, but grades diminished due to torn grain when cutting was changed from cross to longitudinal grain. The wood of both species also was excellent for sanding purposes.

Keywords: Boring, planing, oak, sanding, wood machining, turning.

INTRODUCCIÓN

Los encinos han sido subutilizados y poco aprovechados a nivel nacional, a pesar de ser la segunda especie más importante después de los pinos por su abundancia y amplia distribución y por representar a un gran número de especies. Esta problemática se sustenta en que la industria forestal y maderera en México está diseñada principalmente para la industrialización de maderas suaves como el pino, por lo que, el procesamiento de la madera de encino con el mismo equipo presenta serias dificultades, dado que las tecnologías existentes no son propias para trabajar maderas duras.

Las características y propiedades de la madera influyen sustancialmente en el labrado de la misma, pero también existen por otro lado, los factores de las máquinas y herramientas que afectan la calidad de maquinado (el cual se puede definir como el comportamiento que presenta la madera al ser trabajada con máquinas y herramientas), pero que pueden ser modificados para obtener el efecto deseado. Dentro de estos factores están los ángulos del elemento de corte (ángulo de ataque, ángulo de limpieza, ángulo de filo) y el espesor de viruta, que a su vez está dada por la profundidad de corte, velocidad de alimentación, velocidad de rotación y el número de elementos de corte de la herramienta. En las operaciones de maquinado es frecuente encontrarse con defectos de quemaduras, rayones, grano astillado, grano comprimido, grano apelmusado, grano levantado, grano rasgado y marcas de astilla (Flores, 1990).

En el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias se han estudiado las características de trabajabilidad de la madera de 54 especies mexicanas. De los resultados de estos estudios, Herrera (1981) recomienda cepillar la madera de encino con un ángulo de corte de 20° y el mayor número

de marcas de cuchilla por cm. Torelli (1982) determinó las características de maquinado de dos especies de encinos tropicales, concluyendo que los mejores resultados se obtienen con un mayor número de marcas de cuchilla por unidad de longitud y que a menor ángulo de corte hay un mayor consumo de energía. Quiñones y Herrera (1984) recomiendan cepillar la madera de encino con un ángulo de corte de 20°, ya que con éste se obtienen mejores resultados. Sin embargo, si se aumenta el ángulo de corte a 30° y se mantiene el mismo número de marcas de cuchilla por cm (29.3), disminuye la calidad (Goche, 1995).

Flores (1990) determinó que para el cepillado de madera de encino se obtiene una mejor calidad de superficie a medida que el ángulo de corte es más pequeño y el número de marcas de cuchilla es mayor. Además, existe una relación directa entre la calidad y el número de marcas de cuchillas por cm, es decir, que a mayor número de marcas de cuchilla por cm corresponde una mejor calidad de cepillado (Flores, 1991). Para el torneado, a mayor contenido de humedad (12%) la calidad es mejor comparativamente con contenidos de humedad más bajos (7%) (Flores, 1990).

A pesar de que ya existe información sobre las características de trabajabilidad de algunas especies de encinos mexicanos, es necesario la realización de este tipo de estudios en madera de encino proveniente de una misma condición de crecimiento. Así, en el presente estudio se determinaron las características de maquinado de las especies *Quercus affinis* Scheid. Hort Belg. y *Q. Crassifolia* Humb. & Bonpl., en las operaciones de cepillado, torneado, barrenado, moldurado y lijado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de los ensayos se utilizó la maquinaria instalada en la Planta Piloto de Trabajabilidad de la Madera, en el Campo Experimental San Martinito del C.I.R. Centro, esto es: trompo o molduradora de un cabezal (Marca Invicta, modelo Velox); máquina combinada cepillo, canteador y escoplo con cabezal giratorio para 4 cuchillas (Marca SCM, Modelo 2200 -FSB), un taladro de pedestal (Karpinter), una lijadora de banda (Marca Genari Armando) y un torno semiautomático (Marca Invicta, Modelo Astral). Las herramientas empleadas están construidas con acero rápido, con excepción de la fresa molduradora que es una aleación de carburo de tungsteno.

Las muestras de ensayo se obtuvieron de un lote pequeño de madera aserrada de especies colectadas en el estado de Guanajuato e identificadas como *Quercus crassifolia* y *Q. affinis*. La madera fue secada previamente en estufa convencional a un contenido de humedad promedio de 7% para *Q. crassifolia* y de 8% para *Q. affinis*. Para realizar el ensayo de torneado, algunas secciones de las

tablas se acondicionaron a un contenido de humedad promedio de 17% y 16%, respectivamente.

Las especificaciones y el número de muestras por ensayo fue de 50 de acuerdo a lo establecido por la norma ASTM D1666-87 (ASTM, 1992), excepto que éstas se obtuvieron saneando tablas de diferentes dimensiones en lugar de tablas libres de defectos con dimensiones fijas de 2.5 x 12.5 x 122 cm.

Para el ensayo de cepillado se utilizaron ángulos de corte de 15, 20, 25 y 30°, y los siguientes números de marcas de cuchilla por cm: 16.9 y 29.3; estas cantidades se obtuvieron adecuando en la máquina combinada la velocidad de avance de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$N = (A*B)/(C*100)$$

donde:

- N = Número de marcas de cuchilla por cm
- A = rpm del cabezal portacuchillas
- B = Número de cuchillas
- C = Velocidad de avance, m/min

En el ensayo de moldurado se utilizó una velocidad de giro del cabezal portafresas de 6000 rpm y una velocidad de alimentación promedio de 2.26 m/min en el corte preliminar y de 2.37 m/min en el corte final. Para el ensayo de barrenado se utilizó, como lo establece la norma, una broca para madera de 1" de diámetro, el tiempo de penetración promedio fue de 15 seg para una velocidad de giro de 1300 rpm y para la velocidad de giro de 2500 rpm, el tiempo de penetración promedio fue desde 7.8 a 9.5 seg.

Para el ensayo de lijado se utilizó una lijadora de banda con velocidad de alimentación de 6.37 - 6.50 m/min. ejerciendo una presión constante sobre el cojín opresor de 4.573 Kg, esto, en lugar de la lijadora de tambor que especifica la norma por no contar con esta última.

La evaluación se realizó como lo establece la misma norma, basándose en la presencia y severidad de los defectos de: grano astillado, grano apelmusado, grano levantado, marcas de astilla, grano rasgado, grano comprimido y rayones, examinando las probetas visualmente y clasificándolas en cinco categorías (Cuadro 1).

Posteriormente la evaluación de las especies se realizó considerando la suma de porcentaje de piezas excelentes (E) y buenas (B), de acuerdo a la clasificación que se presenta en el Cuadro 2, excepto en el ensayo de torneado en donde se incluyó además el porcentaje de muestras clasificadas como regulares.

Cuadro 1. Método de evaluación y clasificación de las muestras de ensayo.

Grado	Clasificación	Condiciones de la muestra
1	Excelente	Libre de defectos.
2	Buena	Con defectos superficiales que pueden eliminarse con lija del No. 100.
3	Regular	Con defectos marcados que pueden ser eliminados utilizando una lija gruesa del No. 60 y después una lija fina del No. 100.
4	Pobre	Con defectos severos que para eliminarse, requiere nuevamente del cepillado de la pieza de madera.
5	Muy pobre	Con presencia de defectos muy severos. Para eliminarlos será necesario sanear la pieza de madera.

Cuadro 2. Método de clasificación de especies en función del porcentaje de piezas Excelentes + Buenas.

% Piezas Excelentes + Buenas	Clasificación
90 - 100	Excelente
80 - 89	Buena
60 - 79	Regular
40 - 59	Pobre
0 - 39	Muy pobre

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En México, el cepillado de la madera de encino se realiza normalmente de la misma manera que el de cualquier madera suave, ocasionando con ello que no se obtengan las superficies con el grado de tersura deseado.

El cepillado de la madera de *Q. affinis* presentó excelentes resultados con los ángulos de corte de 15, 20 y 25° para los dos números de marcas de cuchilla por cm probados, pero para el ángulo de 30° los resultados obtenidos fueron buenos sólo cuando se utilizó el mayor número de marcas de cuchilla por cm y regulares para el menor número de marcas de cuchilla por cm (Cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación del efecto el ángulo de corte y el número de marcas de cuchilla por cm en el cepillado de la madera de dos encinos.

Operación	Especie	C. H. %	% piezas (E + B*) por ángulo de corte				N. M. C.	Velocidad alimentación m/min
			15°	20°	25°	30°		
Cepillado	<i>Q. crassifolia</i>	8	98	100	100	76	29.3	07.5
	<i>Q. crassifolia</i>	8	92	96	74	58	16.9	13.0
	<i>Q. affinis</i>	7	96	100	100	86	29.3	07.5
	<i>Q. affinis</i>	7	90	98	92	66	16.9	13.0

* E = cepillado excelente y B = buen cepillado, N. M. C. = número de marcas de cuchilla por cm.

Lo anterior coincide con Flores (1990), quien para la misma especie colectada en el estado de Puebla determinó que con 8.4 marcas de cuchilla por cm los mejores resultados se obtienen utilizando los ángulos de corte de 15, 20 y 25°. También se concuerda con lo reportado por Herrera (1981), Quiñones y Herrera (1984), Flores (1990), Flores (1991) y Goche (1993) quienes mencionan que a mayor número de marcas de cuchilla por cm se incrementa la calidad del cepillado en madera de encinos.

Una situación similar se observó para *Q. crassifolia*, obteniéndose excelentes resultados con los ángulos de corte de 15 y 20°, cuando el ángulo fue de 25° se tuvieron excelentes resultados sólo cuando se utilizó un número de 29.3 marcas de cuchilla por cm, pero al utilizar un número de 16.9 marcas de cuchilla por cm, los resultados fueron regulares. Con un ángulo de corte de 30° los resultados fueron regulares y pobres con 29.3 y 16.9 marcas de cuchilla por cm respectivamente, lo cual coincide con lo encontrado por Flores (1990) y Flores (1991), quienes estudiaron el maquinado de esta misma especie colectada en Puebla y Guanajuato, respectivamente.

El efecto de disminuir la velocidad de alimentación también es un factor importante de considerar, ya que experimentalmente se ha determinado que utilizando un ángulo de corte de 30° (que es el convencionalmente usado en el cepillado periférico de la madera) con una baja velocidad de alimentación, la calidad de la superficie cepillada también se incrementa. Esto se explica en buena parte porque en la medida que se reduce la velocidad de alimentación, la cantidad de madera que las cuchillas tienen que remover al cortar, es menor.

Se ha demostrado con otros trabajos y se corrobora con este estudio que los mejores resultados del cepillado de encinos se obtienen combinando un ángulo de corte pequeño con una velocidad de alimentación baja, generándose con esta última, un mayor número de marcas de cuchilla por cm, manteniendo constante la velocidad de giro del cabezal portacuchillas.

Por otro lado, los resultados reportados por Wengert (1988), Flores (1990), Flores (1991) y Goche (1993), han determinado que el ángulo de corte ideal para obtener una mejor calidad de cepillado en maderas duras varía entre 10 - 20° en función del contenido de humedad de la madera, coincidiendo en que para piezas con rangos de humedad entre 6 y 12%, también son los ángulos más recomendados.

Así mismo, Wengert (1988) también sugiere que para cuando se usen ángulos de corte de 30°, con madera a contenidos de humedad entre 6 y 10%, se utilice una profundidad de corte de 1/32" (0.8 mm). Un factor importante de considerar en el cepillado de cualquier madera, señalado por el mismo autor es que el uso de ángulos entre 20 y 40° reduce tanto el desafilado de las cuchillas, como el consumo de energía hasta en 2 ó 3 veces.

El contenido de humedad en las operaciones de torneado tiene un efecto determinante en la calidad de las piezas torneadas, ya que en el rango entre 7 y 10%, generalmente se presenta con mayor frecuencia el defecto de grano astillado. Koch (1964) menciona que a bajos contenidos de humedad, este defecto puede presentarse tan severo que podría causar la ruptura de la pieza trabajada.

Aunque en general, ambas especies presentaron un excelente comportamiento de torneado para los dos contenidos de humedad probados (Cuadro 4), los resultados obtenidos en el presente trabajo corroboraron esta preposición, ya que las muestras ensayadas con el rango de contenido de humedad entre 7 y 8%, con una clasificación de buen maquinado, presentaron el defecto de grano astillado, lo cual se atribuyó a la mayor resistencia que presenta la madera a ser cortada por la cuchilla de acuerdo con Flores (1990) y Flores (1991).

La literatura reporta que cuando el contenido de humedad oscila entre 12 y 15%, el defecto más frecuente en esta operación es el grano apelmusado, el cual puede eliminarse fácilmente con el lijado. En este experimento, cuando se utilizó un

Cuadro 4. Clasificación del efecto del lijado, torneado, torneado, taladrado y moldurado en maderas de dos encinos.

Operación	Especie	C.H. %	Piezas (E+B) %	Vel. alim. m/min	T.E.C. seg.	Defecto más frecuente	Clasificación
Lijado	<i>Q. crassifolia</i>	8.9	100	6.37	8.62		Excelente
	<i>Q. affinis</i>	9.0	100	6.50	8.44		Excelente
Torneado	<i>Q. crassifolia</i>	8	98	0.0724	16.58	Grano astillado	Excelente
	<i>Q. affinis</i>	7	100	0.0701	17.11	Grano astillado	Excelente
	<i>Q. crassifolia</i>	16	100	0.1151	10.42	Grano apelusado	Excelente
	<i>Q. affinis</i>	17	100	0.1142	10.51	Grano apelusado	Excelente
Barrenado 1300 rpm	<i>Q. crassifolia</i>	8	98	0.0784	15.28	Grano apelusado	Excelente
	<i>Q. affinis</i>	7	98	0.0778	15.43	Grano apelusado	Excelente
	<i>Q. crassifolia</i>	8	100	0.1379	8.7	Grano apelusado	Excelente
	<i>Q. affinis</i>	7	100	0.1370	8.76	Grano apelusado	Excelente
Moldurado Corte preliminar	<i>Q. crassifolia</i>	8	84	2.24	9.96	Grano apelusado	Buena
	<i>Q. affinis</i>	7	90	2.27	9.83	Grano apelusado	Excelente
	<i>Q. crassifolia</i>	8	74	2.48	9.0	Grano apelusado y ast. en salida	Regular
Corte final	<i>Q. affinis</i>	7	64	2.51	8.9	Grano apelusado y ast. en salida	Regular

C.H. = contenido de humedad; Piezas E + B = % de probetas excelentes más buenas; Vel. alim. = velocidad de alimentación, T.E.C. = tiempo efectivo de corte.

rango de contenido de humedad entre 16 y 17%, el porcentaje de probetas excelentes fue más alto que con maderas más secas, las probetas buenas y regulares presentaron como defecto más frecuente el grano apelmusado, lo cual coincide con lo reportado por Flores (1990) y Flores (1991).

En la operación de barrenado, (CSR Training Center, 1991; CSR Training Center, s/f) recomienda emplear velocidades de penetración hasta 50% menos de las que se emplean para maderas suaves. Para piezas perforadas en un rango de humedad entre el 7 y 12%, los resultados obtenidos por Flores (1990) fueron excelentes, al emplear la velocidad de giro de la broca recomendada por el fabricante del taladro en brocas para madera (1300 rpm).

En el presente trabajo, se empleó la velocidad de giro de la broca de 2460 rpm, que es la más próxima a las especificaciones de la norma ASTM D 1666-87 utilizada y la velocidad de 1300 rpm recomendada por el fabricante del taladro en brocas para madera de una pulgada de diámetro. Los resultados obtenidos mostraron que las dos especies presentaron calidades de barrenado excelentes en ambas velocidades.

El hilo recto y la mayor rigidez de las fibras de la madera de encino son características importantes que le permitieron contrarrestar la presencia del grano comprimido, defecto específico del barrenado, presentándose únicamente y con una frecuencia e intensidad mínimas, el defecto de grano apelmusado.

En el moldurado de la madera de encino es recomendable utilizar una velocidad periférica de 40-60 m/seg para fresas con aspas de acero rápido y de 50-80 m/seg para fresas con aspas de carburo de tungsteno y velocidades de alimentación de 3 m/min para molduras curvas y para molduras rectas 6 m/min cuando la alimentación se realiza de manera manual (CSR Training Center, 1991; CSR Training Center, s/f).

La clasificación resultante del moldurado para *Q. affinis* y *Q. crassifolia* fue excelente y bueno respectivamente en el corte preliminar y regulares para ambas especies en el corte final. Estos resultados difieren con lo reportado por Flores (1990), quien menciona que ambas especies presentan excelentes características de moldurado y por Flores (1991), que determinó excelentes resultados de moldurado para *Q. crassifolia*. La presencia y severidad del defecto de grano astillado, que se presentó durante el ensayo al hacer el cambio del sentido transversal al longitudinal, principalmente en el corte final ocasionó que el resultado de moldurado no llegara a ser excelente.

Las dos especies presentaron excelente comportamiento al lijado, empleando una lija de grano grueso del número 60 para eliminar los posibles defectos iniciales de las muestras, con un peso constante del cojín opresor de 4.573 kg y una velocidad de alimentación de 6.37 m/min para *Q. crassifolia* y de 6.5 m/min para *Q. affinis*. El proceso de lijado finalizó con una lija fina del número 100, con

la que se eliminaron los rayones y se obtuvo la tersura deseada, obteniéndose resultados excelentes en las dos especies probadas. Estos resultados coinciden con los que reportan Flores (1990) para las mismas especies del estado de Puebla y Flores (1991) para *Q. crassifolia* del estado de Guanajuato.

CONCLUSIONES

A través de la determinación de las características de maquinado, se puede conocer la facilidad o dificultad que presenta una madera en su procesamiento al ser sometida a las máquinas y herramientas utilizadas en las distintas operaciones de labrado. Para el ensayo de cepillado, la mejor calidad de la superficie se obtuvo utilizando ángulos pequeños de corte y un número mayor de marcas de cuchilla por cm, lo que implica una menor velocidad de alimentación.

La madera de las especies estudiadas presentó excelentes características de maquinado en las operaciones de torneado, barrenado y lijado y muy buenas en el moldurado. El contenido de humedad no manifestó ninguna influencia en el torneado.

La calidad y el comportamiento de ambas especies en el maquinado se considera en general excelente, por lo que es posible recomendar estas maderas en la elaboración de productos de mayor valor agregado, como decoración de interiores y muebles.

REFERENCIAS

- American Society for Testing and Materials. 1992. Annual book of ASTM standards. Construction section. Philadelphia, USA. pp. 260-279.
- CSR Training Center. 1991. Tecnologia delle lavorazioni. Apuntes mimeografiados. Italia. 196 p.
- CSR Training Center. s/f. Utensili per la lavorazione del legno. Italia. 177 p.
- Flores G., E. 1991. Características de maquinado y comparación de dos aleaciones de acero de las cuchillas en el cepillado en tres especies de encino del estado de Guanajuato. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 49 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.
- Goche T., J. R. 1993. Estudio tecnológico de la madera de *Quercus sideroxylla* del estado de Durango. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 63 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 34(6):45-63.

- Koch, P. 1964. Wood machining processes. Ronald Press Company, New York, N.Y., USA. 530 p.
- Quiñones O., J. y A. Herrera B. 1984. Potencialidad y utilización de los encinos en el norte del país. *Ciencia Forestal* 52(9):3-10.
- Torelli, N. 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas. Programa de Cooperación Científica y Técnica México-Yugoslavia. SARH. SFF. UEK. México. 73 p.
- Wengert, E. M. 1988. The wood's doctor RX. Department of Forest Products. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, VA. 378 p.